

Von der programmatischen zur empirischen Technikgeneseforschung: Ein technikhistorisches Analyseinstrumentarium für die prospektive Technikbewertung

Hellige, Hans Dieter

Veröffentlichungsversion / Published Version

Arbeitspapier / working paper

Empfohlene Zitierung / Suggested Citation:

Hellige, H. D. (1993). *Von der programmatischen zur empirischen Technikgeneseforschung: Ein technikhistorisches Analyseinstrumentarium für die prospektive Technikbewertung*. (artec-paper, 24). Bremen: Universität Bremen, Forschungszentrum Nachhaltigkeit (artec). <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0168-ssoar-58690-8>

Nutzungsbedingungen:

Dieser Text wird unter einer Deposit-Lizenz (Keine Weiterverbreitung - keine Bearbeitung) zur Verfügung gestellt. Gewährt wird ein nicht exklusives, nicht übertragbares, persönliches und beschränktes Recht auf Nutzung dieses Dokuments. Dieses Dokument ist ausschließlich für den persönlichen, nicht-kommerziellen Gebrauch bestimmt. Auf sämtlichen Kopien dieses Dokuments müssen alle Urheberrechtshinweise und sonstigen Hinweise auf gesetzlichen Schutz beibehalten werden. Sie dürfen dieses Dokument nicht in irgendeiner Weise abändern, noch dürfen Sie dieses Dokument für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, aufführen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

Terms of use:

This document is made available under Deposit Licence (No Redistribution - no modifications). We grant a non-exclusive, non-transferable, individual and limited right to using this document. This document is solely intended for your personal, non-commercial use. All of the copies of this documents must retain all copyright information and other information regarding legal protection. You are not allowed to alter this document in any way, to copy it for public or commercial purposes, to exhibit the document in public, to perform, distribute or otherwise use the document in public.

By using this particular document, you accept the above-stated conditions of use.

Forschungszentrum Arbeit und Technik

artec

Hans Dieter Hellige

Von der programmatischen zur empirischen
Technikgeneseforschung : Ein technikhistorisches
Analyseinstrumentarium für die
prospektive Technikbewertung

artec-Paper Nr. 24, April 1993

erscheint gekürzt in: Technikgeschichte, Bd.60 (1993), Heft 4

Universität Bremen

INHALTSVERZEICHNIS

	Überblick	2
	Abstract	2
1.	Entstehung und Programm der Technikgeneseforschung	3
2.	Ansatz- und Umsetzungsprobleme der soziologischen Technikgeneseforschung	7
2.1	Die Verschärfung des Antizipationsproblems durch den Rekurs auf die frühe Genese phase	8
2.2	Die Überschätzung der Bedeutung von Technikleitbildern für die Erklärung bzw. Steuerung von Genese prozessen	12
2.3	Das Problem des Übergangs von der rekonstruktiven zur prospektiven Technikbewertung	16
2.4	Defizite der Ansätze zur qualitativen Analyse von Technologielebenszyklen	18
3.	Analyseinstrumente für die rekonstruktive und prospektive Technikgeneseforschung	22
3.1	Die historische Prägungsanalyse und das prospektive Technikstilkonzept	23
3.2	Ansätze zur Operationalisierung der retrospektiven und prospektiven Leitbildforschung	28
3.3	Die vergleichende Systemstreithistorie zur Analyse kontroverser Pfadalternativen	32
3.4	Ein Dynamischer Problemstrukturplan als technikhistorisches und techniken genetisches Analyse-Modell für Technologielebenszyklen	39
3.4.1	Strategische Designentscheidungen in der Genese phase aus der Entwickler- und Herstellerperspektive	41
3.4.2	Systemmängel in der Ausbreitungsphase: Diffusionsengpässe und -risiken aus der Sicht der Systemnutzer	46
	Anmerkungen	54

ÜBERBLICK

Die folgenden Ausführungen möchten Wege aufzeigen, wie die Technikgeschichte ihre Stärken in ein operationalisiertes Technikgenese-Forschungsprogramm einbringen könnte. Ausgangspunkt ist eine Bestandsaufnahme der Theorie- und Methodenprobleme der soziologischen Technikgeneseforschung. Mit Blick auf den überzogenen Anspruch der theorieorientierten Richtung, die Technikfolgenabschätzung abzulösen, wird eine längere Phase der Entwicklung und kritischen Erprobung von empirischen Analysemethoden gefordert. Der Beitrag plädiert insbesondere für eine vorsichtigere Bewertung der Rolle von Leitbildern bei der Erklärung bzw. Steuerung von Technikgeneseprozessen sowie für einen Perspektivwechsel von der theoretischen Totalkonstruktion einer "sozialen Evolution der Technik" zur konkreten Analyse von Entscheidungsproblemen des technischen Handelns und von der isolierten Betrachtung der Genesephase zu einer antizipierenden Berücksichtigung des gesamten Technologielebenszyklus in der Entwicklung und Konstruktion. Im Anschluß an den theoretischen Teil werden anhand von Beispielen aus der Geschichte der Informations- und Kommunikationstechniken Analyseinstrumente für die rekonstruktive und prospektive Technikbewertung von Technologielebenszyklen vorgestellt.

ABSTRACT

In the following the reader will be presented with ways in which the strengths of the history of technology might be incorporated into an operationalized research program on the generation of technology. The starting point is an assessment of the theoretical and methodological problems of sociological research on the generation of technology. In view of the exaggerated claim of the theory-oriented approach of being a replacement for technological assessment, a longer phase of development and critical testing of empirical methods of analysis is required. This paper urges, in particular, a more careful evaluation of the role of guiding visions (Technikleitbilder) in explaining or controlling generation of technology processes as well as a change in perspective from the total theoretical construction of a "social evolution of technology" to a concrete analysis of decision-making problems of technical action and from the isolated view of the genesis phase to an anticipative consideration of the entire technological life cycle in development and design. Following the theoretical section, analytical instruments for the reconstructive and prospective assessment of technological life cycles will be presented on the basis of examples from the history of information and communication techniques.

"Die Geschichte eines Erscheinungsgebietes ist die Kundgebung der darin waltenden Regelmäßigkeiten und Gesetze, und das Studium der Geschichte führt zur Entzifferung dieser Gesetze. So hoffen wir, daß die systematische Erforschung der Vergangenheit der Technik dereinst klares Licht werfen wird auf die Rolle, welche die Technik und die Techniker in der zukünftigen Gesellschaft spielen sollen."

P.K.von Engelmeier
(Der Dreiakt als Lehre von der Technik
und der Erfindung, Berlin 1910, S.10)

1. ENTSTEHUNG UND PROGRAMM DER TECHNIKGENESEFORSCHUNG

"Technikgenese" ist ein Leitbegriff, mit dem vor allem die Techniksoziologie in Deutschland seit etwa 10 Jahren einen Teil ihrer Forschungsanstrengungen bündelt.¹ Das Programm einer systematischen Analyse von Geneseprozessen in der Technik ist Bestandteil einer umfassenden Neuorientierung der sozialwissenschaftlichen Technikforschung. Das jahrzehntelang nahezu unangefochtene deterministische Technikverständnis wurde seit Beginn der 70er Jahre zunehmend durch eine Reihe von Kontingenzansätzen des technischen Wandels in Frage gestellt, die die technischen Artefakte und Systeme maßgeblich als Resultate von gesellschaftlich-politischen Entscheidungsprozessen und Akteurs- bzw. Interessenkonstellationen begriffen. Die Erkenntnis, daß der Technische Fortschritt keine immanente Eigenlogik und damit Sachzwangcharakter besitzt, sondern wesentlich *gesellschaftlich* gemacht ist, führte sehr bald zu Bestrebungen, Technisierungsprozesse durch die Beteiligung von Akteuren, Nutzern und sonstigen Betroffenen gezielt zu steuern bzw. zu beeinflussen. So wurden verschiedene Methoden der Partizipation erprobt, um bislang vernachlässigte Interessen bewußt in die Technikentwicklung einzubeziehen.² Durch die Systematisierung der konstatierten Mängel und Defizite entstanden normative Kriterienkataloge, die eine sozialverträgliche, später auch eine umweltverträgliche Technikgestaltung anleiten sollten. Schließlich wurde das bis dahin überwiegend als Trendextrapolation, als Frühwarnsystem oder vor allem als nachträgliche Folgenabschätzung verstandene Technology Assessment durch Begleit- bzw. Aktionsforschungsansätze ergänzt, so daß sich schon Jahre vor der Etablierung der Technikgeneseforschung die reine Folgenanalyse zu einer aktiv auf die Beeinflussung von Entwicklungsprozessen zielenden "Wirkungsforschung" und einer "empirischen Potentialforschung" erweitert hatte.³

Bereits in der 2. Hälfte der 70er Jahre schien damit der Übergang von einer Ex-post-Analyse von Technikfolgen zu einer "technikanstoßenden Sozialforschung" im Bereich des Möglichen. Doch die frühen Gestaltungs- und Partizipationsansätze erwiesen sich bald als zu naiv oder zu voluntaristisch und der Begriff der sozialverträglichen Technikgestaltung kam wie die meisten alternativen Gestaltungsprinzipien-Kataloge nicht über emphatische Appelle hinaus. Die erheblichen praktischen Probleme bei der Identifikation und der gezielten Ausschöpfung von Handlungsspielräumen machten die großen theoretischen und empirischen Wissensdefizite hinsichtlich des Entstehungsprozesses technischer Innovationen offenbar. So entstand Anfang der 80er Jahre ein starkes Bedürfnis nach systematischen Untersuchungen über Handlungsoptionen bei Gestaltungsprozessen, die über die üblichen Pfad-, Verzweigungs-, Korridor- und Spielraum-Metaphern hinausgingen und konkreter bei den verschiedenen, in Technikgeneseprozessen wirksamen ökonomischen, sozialen und kulturellen Prägungsmechanismen ansetzten. An den Bemühungen zur Schließung der großen Theorie- und Methodenlücke, die zwischen der Konstruktionswissenschaft auf der einen Seite und der Technikprognostik sowie der klassischen Technikfolgenabschätzung auf der anderen bestand, beteiligten sich vor allem die ökonomische Innovationsforschung, die Organisationsforschung und die angewandte Informatik, die Wissenschaftssoziologie sowie Teile der Wirtschafts-, Sozial- und Technikgeschichte. Die Überwindung des Technikdeterminismus hatte in all diesen Disziplinen die Frage nach den die Technikwahl und Lösungsselektion bestimmenden *sozialen* Mechanismen in Gang gesetzt, ebenso die Suche nach verschütteten Alternativen und nicht genutzten Gestaltungsvarianten in der vergangen wie in der aktuellen Technikentwicklung.

Diese Forschungsanstrengungen wurden seit 1984 z.T. unter dem Schlagwort der "Technikgeneseforschung" zusammengefaßt, wobei sich die Techniksoziologie sehr bald an die Spitze des sich konstituierenden interdisziplinären Forschungsverbundes stellte. Sie selbst war erst wenige Jahre zuvor aus der Wissenschaftssoziologie, aus Teilen der Industriosozologie und der politikwissenschaftlichen Technologiepolitikberatung hervorgegangen. Obwohl selber besonders lange dem Glauben an eine autonome Logik und Eigendynamik der Technikentwicklung verhaftet, vertrat die soziologische Technikforschung bald am offensivsten die These, daß technische Artefakte letztlich nur als soziale Konstrukte entschlüsselt werden könnten und die Technikentwicklung insgesamt allein als "Resultat eines sozialen Evolutionsprozesses" zu rekonstruieren und zu erklären sei. Im Unterschied zu den älteren bzw. gleichzeitigen Forschungsprogrammen des "Social Shaping of Technology" in England und den USA und des "Constructive Technological Assessment" in den Niederlanden, die die konstruktionsbegleitende Tech-

nikbewertung lediglich als mögliche Ergänzung zur herkömmlichen Technikfolgenabschätzung (TA) sehen,⁴ versteht sich die dominierende, theorieorientierte Technikgeneseforschung in Deutschland als *Nachfolger* der klassischen TA. Sie hat sie aufgegeben, weil diese sich im ständigen Kleinkrieg mit Unternehmen, Behörden und politischen Institutionen zerrieben hat, weil sie zu passiv reflektiert und nachträglich korrigiert, anstatt aktiv und präventiv zu gestalten. Die Technikfolgenabschätzung wird auch als wissenschaftlicher Ansatz preisgegeben, da sie drei fundamentale Methodenprobleme nicht bewältigt habe:

1. das *informationelle Kontrolldilemma*, das besagt, die TA verfüge entweder erst dann über das zur Intervention erforderliche Wissen, wenn die Technik schon etabliert ist, oder sie greife ohne dieses gesicherte Wissen zu früh ein und hemme dadurch womöglich die neue Technik in ihrer Entfaltung
2. das *Prognosedilemma*, das es prinzipiell ausschließt, rekursive Entwicklungsprozesse und komplexe Wirkungsketten schon bei der Entstehung neuer Techniken zu antizipieren sowie
3. das *Aggregationsproblem*, das eine Aufrechnung von betriebs- und volkswirtschaftlichen Größen behindert und damit auch eine genauere quantitative Bewertung der Externalisierung sozialer Kosten unmöglich macht.⁵

Die Technikgeneseforschung hofft nun diesen Schwierigkeiten dadurch zu entgehen, daß sie sich bereits in den Entstehungsprozeß einer Technik einschaltet, um mögliche Folgeprobleme im Vorfeld zu erkennen und zu vermeiden, anstatt sie erst im Nachhinein durch aufwendige Folgenanalysen zu ermitteln, die meist in der Komplexität der Aufgabe ersticken. Entgegen der ursprünglichen Intention hat das Programm einer systematischen Erforschung von Technikentstehungsprozessen zum Zwecke der frühzeitigen Einflußnahme bzw. Steuerung bisher nicht zu einem homogenen Forschungsfeld geführt. Noch immer sind in den drei größeren Richtungen die Ursprungsdisziplinen erkennbar: die Industriesoziologie hinter einer vorwiegend empirisch-genetischen Arbeit- und Technikforschung,⁶ die Organisationsforschung und der frühere Wirkungsforschungsansatz der GMD hinter der ebenfalls stark empirischen Alternativen- und Optionsforschung in den neuen Informations- und Kommunikationstechniken⁷ und schließlich die Wissenschaftsoziologie hinter der nach außen dominierenden dritten, ausgeprägt theorie- und historieorientierten Richtung.⁸ Alle drei verfolgen die Intention, den Analyse- und Interventionszeitpunkt von der Diffusions- in die Genese-Phase vorzu-

verlegen. Ebenso streben alle drei durch die Verschränkung von technologischen Entwicklungen mit gesellschaftlichen Zielsetzungen eine normative Steuerung von Technisierungsprozessen an. Unterschiede bestehen zwischen ihnen jedoch im Verhältnis zur klassischen TA und im Hinblick auf die Reichweite der Technikgeneseforschung. Die beiden stärker empirischen Ansätze sehen ihr Forschungsfeld vor allem im anwendungsnahen Bereich und sie haben auch keinen so scharfen Bruch zur Technikfolgen- bzw. Wirkungsforschung vollzogen. Die theorieorientierte Richtung versteht sich demgegenüber als Ersatz der Technikfolgenabschätzung, und sie will den Geneseansatz auch auf Basistechniken, Wissenschaftskonzepte und frühe Leitbildformulierungen ausdehnen. Wegen ihrer Geschichtsnähe steht sie im Mittelpunkt der folgenden Ausführungen.

Für die Technikgeschichte stellt die Technikgeneseforschung eine besondere Herausforderung dar. Während die allgemeine Techniksoziologie mit dem schnell wechselnden Angebot meist ahistorischer Theorien die Technikgeschichte nur partiell berührt hat, stößt die Technikgeneseforschung mit der genetischen Perspektive und dem starken Rekurs auf historische Wissenbestände unmittelbar auf ihr Terrain vor. Diese Historisierung ist zwar einen Vorzug gegenüber der bisher rein gegenwartsbezogenen Technikfolgenabschätzung, die mit ihrem systemtheoretischen und politologisch-entscheidungsorientierten Theorie- und Methodenspektrum nie eine engere Beziehung zur Technikgeschichte entwickelt hat (daran änderte auch das "Retrospektive Technology Assessment" nur wenig, denn dieses blieb bis auf wenige herausragende Pilotstudien im wesentlichen ein Programm)⁹. Auf der anderen Seite bedeutet der starke theorieorientierte Zugriff der Technikgeneseforschung auf historische Entwicklungsprozesse auch eine Konkurrenz und Infragestellung der nach wie vor nicht sehr theoriefreudigen Technikgeschichte. Denn die Gegenüberstellung macht sehr schnell sichtbar, daß diese sich noch immer vor strukturanalytischen Vergleichen und Verallgemeinerungen scheut und überhaupt höchst selten an Bezügen zu gegenwärtigen Technikentwicklungen interessiert ist.

So ist die Beziehung beider Disziplinen bis heute von einem ungleichen Tausch geprägt. Die Technikhistoriker nehmen die Technikgeneseforschung nur wenig zur Kenntnis und rezipieren bestenfalls einige theoretische Versatzstücke für ihre ansonsten ungebrochene narrative Darstellungsweise. Techniksoziologen benutzen ihrerseits die Technikgeschichtsschreibung als Faktenbasis, um sich die besonders mühevollen historische Rekonstruktionsarbeit zu ersparen. Dabei müssen sie, weil die Historiker ihren Rekonstruktionen kaum eigene theoretische Fragestellungen zugrunde legen, das historische Material bei ihren soziologischen Theorieansätzen neu strukturieren und uminterpretieren,

was nicht selten zu problematischen Sekundäranalysen führt. Es wäre zu wünschen, wenn aus diesem unbefriedigenden Nebeneinander beider Disziplinen eine synergetische Beziehung entstünde, in der die historische Geneseforschung ihre dominante Rückschau-Perspektive und Theorieabstinenz überwindet und die soziologischen Technikgeneseansätze auf ein breiteres Fundament historischer Quellenarbeit und Fakteninterpretation gestellt werden.

2. ANSATZ- UND UMSETZUNGSPROBLEME DER SOZIOLOGISCHEN TECHNIKGENESEFORSCHUNG

Die theorieorientierte soziologische Technikgeneseforschung sucht vor allem in "Leitsemantiken und Visionen" der Akteure des Forschungssystems die entwicklungsbestimmenden "Gene" einer Technik zu ermitteln, um sie dann gezielt zum frühest möglichen Zeitpunkt beeinflussen zu können.¹⁰ Die angestrebte Ex-ante-Lösung der Probleme, zu der die Technikfolgenabschätzung ex post nicht in der Lage war, erweist sich jedoch als wesentlich komplizierter als ursprünglich angenommen. Die massiven Umsetzungsprobleme sind bislang noch nicht so deutlich in Erscheinung getreten, da sich die technikgenetischen Forschungsansätze erst einmal auf Fallbeispiele bzw. historische Rekonstruktionsstudien zu einzelnen Techniken, vor allem aber auf einen übergreifenden Theorierahmen konzentrierten. Der etwa in Rammerts "gesellschaftlicher Evolutionstheorie des Technischen Wandels" auf der kognitiven Ebene erfolgende Nachweis, daß die Artefakte auf "technologischen Paradigmen" und Grundkonzepten der Ingenieurwissenschaften beruhen, die selber nichts anderes als technische Codierungen sozialer und kultureller Konzepte darstellen,¹¹ täuscht dabei eine Einflußmacht des Techniksoziologen auf Technisierungsprozesse vor, die sich auf der Ebene des realen technischen Schaffensprozesses angesichts konkreter Technikstrukturen und Designentscheidungen schnell wieder verflüchtigt. Die meisten Aussagen zur *konkreten Umsetzung* beziehen sich daher auch fast ausschließlich auf Organisations- und Verfahrensmodelle für Wertdiskurse bzw. das soziale Management von heterogenen Akteurskonstellationen sowie auf Vorschläge für Aneignungs- und Kultivierungsprozesse von bereits fertig entwickelten Techniken, die selber ihren Black-box-Charakter bewahren. Dadurch kommt es leicht zu einer Umkehrung des sozialkonstruktivistischen Ansatzes und zu einer teilweisen Rückkehr des Technikdeterminismus durch die Hintertür. Der Beitrag des Techniksoziologen zur sozialorientierten Technikgestaltung wird dann nicht mehr primär in der nutzergerechten *Anpassung der Technikstrukturen* gesehen, sondern im "Design der Institutionen" und der Moderation von "Verhandlungsarenen", um so

die notwendigen *sozialen und kulturellen Anpassungsleistungen* an die neue Technik zu steuern: "Die Diffusion technischer Praktiken bedarf eines kulturellen Wandels, in dem sich Wertpräferenzen und Handlungsstile verändern."¹²

Dieser Abschnitt möchte die zentralen Theorie- und Methodenprobleme der theorieorientierten soziologischen Technikgeneseforschung herausarbeiten, die, neben der noch immer unzureichenden empirischen Fundierung, einer Einlösung des anspruchsvollen Programms im Wege stehen, nämlich:

1. Die Verschärfung des Antizipationsproblems durch den Rekurs auf die frühe Genesephase
2. Die Überschätzung der Bedeutung von Technikleitbildern für die Erklärung bzw. Steuerung von Geneseprozessen
3. Das Problem des Übergangs von der rekonstruktiven zur prospektiven Technikbewertung und
4. Defizite der Ansätze zur qualitativen Analyse von Technologielebenszyklen.

2.1 DIE VERSCHÄRFUNG DES ANTIZIPATIONSPROBLEMS DURCH DEN REKURS AUF DIE FRÜHE GENESEPHASE

Die Technikgeneseforschung möchte sich durch einen "Befreiungsschlag aus der Sackgasse der traditionellen TA" retten, indem sie den Analyse- und Interventionszeitpunkt so weit wie möglich vorverlegt. Sie sucht nach dem "archimedischen Punkt", von dem aus sich bereits die schädlichen Folgen mit geringem Aufwand abschätzen und korrigieren lassen¹³ und geht dabei viel weiter zurück als die Ansätze der betrieblichen Arbeits- und Technikgestaltung oder wertanalytische F&E- Steuerungsmethoden. Denn sie versucht schon bei der Herausbildung eines technikprägenden Wissenschaftskonzeptes oder einer Leitbildformulierung anzusetzen, d.h. in jener frühen Phase der Genese einer Technik, in der "die Vorentscheidungen darüber getroffen <werden>, welchen Charakter die später realisierten und immer wieder modifizierten Techniken annehmen und in welchen Bahnen die soziale Verwendung und ihre impliziten Folgen verlaufen wird".¹⁴ Die Technikgeneseforschung begründet diese Vorverlegung mit den "abnehmenden Gestaltungskorridoren", d.h. der auf der betrieblichen Ebene gewonnenen Erfahrung einer wegen des überproportionalen Kostenanstiegs in F&E-Prozessen schnell sinkenden Änderungsflexibilität, wobei sie die These auf die Genese ganzer Techniken

überträgt. Die frühzeitige "Schließung und Konsolidierung" eines Technikpfades und somit die Abschneidung alternativer Entwicklungsrichtungen wird dabei vor allem mit sich sehr bald verfestigenden "Wahrnehmungsfiltern" der Entwickler und Konstrukteure erklärt und nur zum geringen Teil mit gesellschaftlichen Interessenlagen in Verbindung gebracht. Die soziologische Technikgeneseforschung distanziert sich hier von interessenbezogenen Ansätzen auch der sozial- und wirtschaftshistorischen Technikgeschichte zugunsten einer stärker wissenssoziologischen Argumentation in Anlehnung an T.S.Kuhns Paradigmen-Begriff.¹⁵

Die aus dem informationellen Kontrolldilemma gezogene Konsequenz, mit dem Aufspüren von Folgen und Nebenwirkungen und der Suche nach besseren Alternativlösungen bereits in der frühesten Genese phase zu beginnen, wenn sich die "Wahrnehmungsfilter" noch nicht etabliert haben und die Gestaltungskorridore noch am breitesten sind, führt den Geneseforscher jedoch in neue Widersprüche und Probleme, die bislang weitgehend übersehen wurden. Denn die Annahme eines solchen Angelpunktes, von dem aus wesentliche Folgewirkungen noch vor der konkreten Gestaltung bzw. dem Einsatz einer Technik erkannt und korrigiert werden können, ist nicht nur, wie historische Studien von Entstehungsprozessen zeigen, eine Fiktion, sondern steht auch im Widerspruch zu den bisherigen Erkenntnissen von TA wie Technik- und Industrie-soziologie.¹⁶ Danach sind gerade Technikfolgen im hohen Maße kontextabhängig: erst in der realen Ausgestaltung und im konkreten gesellschaftlichen Anwendungszusammenhang treten mit den Wechselwirkungen und Verstärkereffekten die tatsächlichen Folgen in Erscheinung und nicht bereits im noch sehr unscharfen Wissenschaftskonzept bzw. in frühen Leitbildformulierungen. Denn in der frühen Genese phase sind weder die technische Realisierbarkeit noch die Wirtschaftlichkeit und damit das mögliche Anwendungsspektrum überschaubar. Ebenso wenig ist das Ausmaß der Externalisierung sozialer Kosten erkennbar. Die vom Technikgeneseforscher zu diesem Zeitpunkt ermittelten Handlungsspielräume, Potentiale oder Folgewirkungen sind also noch derart vage, daß ein steuerndes Eingreifen, wie bei einer zu frühen Technikfolgenabschätzung, fehlergehen oder blockieren könnte. Die geringe Antizipierbarkeit von Wirkungspotentialen zu einem so frühen Zeitpunkt gilt im übrigen auch für die vorgebrachten Alternativvorschläge, denn auch bewußte Gestaltungen und Vorkehrungen gegen schädliche Folgen sind, wie es nicht wenige Ersatzstoffe zeigen, nicht frei von ungewollten Effekten. Die Geneseforschung entgeht also der Gefahr des Zuspätkommens der Technikfolgenanalyse nur, indem sie permanent das Risiko einer "zu frühen" Analyse oder Intervention eingeht und dabei einen hohen Forschungsaufwand treiben muß, da die Spreu noch nicht vom Weizen getrennt ist.

Das Ausmaß der Antizipationsprobleme demonstriert ein kurzer Blick auf die Genese-phase neuerer Informations- und Kommunikationstechniken. Bei dem Grundkonzepten der heutigen digitalen Übermittlungstechnik und der zellularen Mobilkommunikation waren die technisch-ökonomischen Voraussetzungen für einen wirtschaftlichen Einsatz und damit für breitere Anwendungsmöglichkeiten erst nach drei Jahrzehnten intensiver Forschung und Entwicklung gegeben. Zielsetzungen und gesellschaftlicher Kontext des Technikeinsatzes hatten sich in dieser langen Zeitspanne aber mehrmals gründlich verschoben. Das Basiskonzept der heutigen ISDN-Technik, d. h. die Digitalisierung analoger Signale und die Integration von Telefon-, Telematik- und Datendiensten in einem Netz, geht bereits auf Vorversuche von 1902, auf systematische Forschungen in den 20er und 30er Jahren und die Basiserfindung der Pulscodemodulation von 1937/38 zurück.¹⁷ Die äußerst eng gezogenen Leitbilder (Netzökonomie oder militärische Gesprächsverschlüsselung), aber noch mehr die großen Realisierungsprobleme und die extreme Unwirtschaftlichkeit hätten jedoch jede Bewertung durch Technikgeneseforscher zu diesem Zeitpunkt zum Glasperlenspiel gemacht. Auch seit der Verfügbarkeit der erforderlichen Bauelemente war die nach wie vor sehr teure PCM-Technik lediglich eine Engpaßtechnik in hochüberlasteten Großstadtnetzen. Vertreter einer digitalen Netzintegration waren ab 1968 bis zur Mitte der 70er Jahre in der Zunft noch große Außenseiter. Als sich aber nach kurzer heftiger Kontroverse die Digitalisierung als Grundlage und das Universalnetz als Zielperspektive in den USA ab 1975/76 und in der BRD ab 1978/79 endgültig durchsetzten, hatten Netzbetreiber und Hersteller bereits so viel in die Technik investiert, daß die erste Kritik am ISDN-Konzept Anfang der 80er Jahre bereits auf massiven Widerstand der Hersteller stieß.¹⁸ Promotoren wie Kritiker schätzten dabei Ausbreitungsgeschwindigkeit, technisches Gerätespektrum, Zielgruppen und Anwendungsschwerpunkte gleichermaßen falsch ein. Daß nach fast zehnjähriger Verspätung des Diffusionsbeginns die PC- bzw. die LAN-Verknüpfung die Haupteinsatzfelder werden, konnte zum Zeitpunkt der Systementscheidung von 1979 noch nicht vorhergesehen werden.

Die Charakterisierung der PCM-Technik durch Reeves als "a child with a long infancy"¹⁹ trifft auch für die Mobilkommunikation auf der Basis der Zellulartechnik zu. Das bereits 1947 entwickelte erste Zellularnetzkonzept hatte wie das PCM-Patent von 1938 für die Erfinder wenig Wert, es war bis 1960 lediglich Gegenstand interner Studien des Bell-Lab.²⁰ An eine praktische Anwendung war erst seit den 70er Jahren zu denken und erst die Bauelementeentwicklung der 2. Hälfte der 80er Jahre (ASIC's und SMD-Technik) machten überhaupt die massenhafte Ausbreitung möglich. Weder die Hersteller noch die Netzbetreiber haben Ausmaß und Richtung der Nutzung (Vorrang der

Handhelds vor Autotelefonen) zutreffend eingeschätzt. Die Risiken des Mobilfunks (Elektrosmog, Elektromagnetische Verträglichkeit, Gesundheits- und Sicherheitsrisiken sowie Datenschutz und Verkehrssicherheitsprobleme) wurden hier ebenfalls auch von der kritischsten Wirkungsforschung erst viele Jahre nach der Grundsatzentscheidung der Post über den Einstieg in die C- und D-Netztechnik erkannt, als es für eine problemlose antizipierende Korrektur viel zu spät war.

Im Falle der Telematik-Dienste Telefax, Teletex (Bürofernschreiben) Electronic Mail und Computer Conferencing haben Hersteller, Diensteanbieter und Kritiker der neuen Medien die Zielgruppen und Anwendungsschwerpunkte sowie die sozialen Auswirkungen gleichermaßen falsch bewertet. Die Faxtechnik wurde vor allem aus Kostengründen als ein professioneller Bildkommunikationsdienst eingeschätzt und der Faxboom von nahezu keinem vorhergesehen. Der weitgehend gescheiterte Teletex-Dienst erschien dagegen als die künftige Basistechnik der Büroautomation und Promotor der Telearbeit. Walter von Pattay kommt in seiner Studie über die Ausbreitungsbedingungen von Telekommunikationsdiensten zu dem Ergebnis, daß vielleicht 5 % des Verkehrs in einem neuen Dienst auf Anwendungen zurückzuführen sind, die bei der Einführung bekannt waren bzw. angenommen wurden.²¹

Auch der Technikgeneseforscher wird bei der Bestimmung des Nutzungspotentials einer neuen Technik selten klüger sein können als die Erfinder, Entwickler oder Promotoren. Und je umfassender das mögliche Wirkungsspektrum einer Technik ist, also das von Basis- oder Schlüsseltechniken bzw. Infrastrukturtechniken, desto schwieriger ist die Folgenantizipation. Dies gilt um so mehr für die "technologischen Paradigmen" und kognitiven Grundorientierungen von Ingenieurwissenschaften wie etwa das "Konzept der technischen Kommunikation", die eine so große Spannweite von Gestaltungsalternativen umfassen, daß von einer auch nur halbwegs plausiblen Folgenantizipation nicht die Rede sein kann.²² So sieht sich der Geneseforscher bei grundlegenden Neuerungen einem drastisch verschärften Prognosedilemma gegenüber, das Konrad Zuse einmal folgendermaßen beschrieben hat: Am Beginn der Computerentwicklung habe man unmöglich die heutigen Konsequenzen voraussehen können, da der technische Stand weitreichende Folgerungen ausgeschlossen habe. "Für solche weitgehenden Perspektiven ist am Anfang einer Entwicklung der Resonanzboden einfach noch nicht vorhanden." Später aber, wenn der Stand der Technik und die Aufmerksamkeit der Öffentlichkeit gegeben seien, "ist sie eben kein kleines Kind mehr, das noch in den Grundlagen geformt werden kann, sondern sie ist inzwischen bereits zu einem strammen Burschen ausgewachsen, mit einem ausgeprägten und eigensinnigen Charakter".²³

2.2 DIE ÜBERSCHÄTZUNG DER BEDEUTUNG VON TECHNIKEITBILDERN FÜR DIE ERKLÄRUNG BZW. STEUERUNG VON GENESEPROZESSEN

Der Leitbildbegriff erlebt in der Technik seit dem Ende der 80er Jahre eine regelrechte Hochkonjunktur. Ursache hierfür ist seine gleichzeitige Ausbreitung in mehreren Disziplinen, insbesondere in der Technikgeschichte, in der sozialwissenschaftlichen Technikforschung, der Management Science und in der Informatik. Nach frühen Vorläufern in der Konstruktionslehre und allgemeinen Technologie nach dem Ersten Weltkrieg²⁴ und vereinzelter Verwendung in der Technikgeschichte²⁵ erlangte er erstmals eine größere Bedeutung am Übergang von den 70er zu den 80er Jahren. In der Energiedebatte diente der Leitbildbegriff neben den Begriffen "Energiekonzepte, -zukünfte und -weltbilder" zur Kennzeichnung prinzipieller "Sichtweisen des Energieproblems" bzw. von prototypischen Problemlösungsmustern der Energietechnik.²⁶ Bald erschien der Leitbildbegriff auch in der allgemeinen Technikdiskussion als Entsprechung des Kuhn-schen Paradigmas, zunächst als reine Übersetzung, dann als Ausdruck eines flexibleren und stärker akteursbezogenen Kontingenzansatzes gegenüber den dichotomischen Weg- oder Pfad-Vorstellungen bzw. den starren Paradigmen- und Trajectory-Konzepten.²⁷ Seit dem Ende der 80er Jahre breitete sich der Begriff Technikleitbilder in verschiedenen Ingenieurwissenschaften und in der Technikforschung aus, wobei mehrere grundlegende Schwerpunktsetzungen erkennbar sind.

Eine sozial- und technikkritische Richtung versucht mit Hilfe der Ideologiekritik herrschender Technikleitbilder die Interessenprägung technischer Entwicklungsrichtungen aufzudecken, um diesen dann alternative Gegenleitbilder entgegenzustellen.²⁸ Leitbilder werden hier primär als Bestandteil von Vermachtungsstrategien oder Aushandlungsprozessen gesehen. Neuerdings nähert sich der interessenbezogene Ansatz einer stärker hermeneutisch orientierten zweiten Richtung. Diese strebt mit der Leitbildanalyse ein Bewußtmachen von Fixierungen und Vorverständnissen an, entweder mit dem Ziel einer Korrektur von Orientierungen und Lösungsmustern oder, wo dies als nicht möglich erscheint, mit dem Ziel einer Initiierung von Diskursen. In der Informatik schließlich mündete die Diskussion über Perspektiven und Metaphern sowie über eine normative Neuorientierung ebenfalls im Leitbildbegriff, wobei sich sozialkritisch-aufklärerische und anthropologisch-kulturalistische Hermeneutik-Ansätze gegenüberstehen.²⁹

Während in diesen Ansätzen die Leitbildforschung als eine Ergänzung des Analyse-instrumentariums auftritt, erhielt sie in der soziologischen Technikgeneseforschung eine Schlüsselrolle für die Erklärung, Prognose und Steuerung von technischen Entwick-

lungsprozessen. Das umfassendste und am meisten diskutierte Konzept stammt von einem Forscherteam um Meinolf Dierkes. Es faßt mehrere Forschungsansätze unter dem Leitbildbegriff zusammen: den retrospektiv-analytischen, der die Wirksamkeit von Leitbildern in der Technikgenese nachweisen soll, dann, in Anlehnung an die Organisationskultur-Debatte und die amerikanische Management Science, ein Personalführungskonzept, mit dem divergierende Forschungskollektive und Akteurskonstellationen indirekt über "visions" gesteuert werden: Anstatt sie durch starre Regeln und direkte Eingriffe zu gängeln, sollen "Bilder" als "kognitive Aktivatoren, individuelle Mobilisatoren und interpersonelle Stabilisatoren" bei ihnen eine "dezentral-synchrone Voradaptation" bewirken.³⁰ Und schließlich wird das "Leitbild-Assessment", noch ehe die Wirksamkeit von Leitbildern in Technikgeneseprozessen überhaupt empirisch erforscht wurde und ehe gezeigt wurde, ob sich Technikleitbilder wie Unternehmensleitbilder bewußt steuern lassen, bereits zum entscheidenden Instrument deklariert, um die Defizite und Dilemmata der Technikfolgenabschätzung zu überwinden. Von der Leitbildforschung wird hier also zugleich die analytische Rekonstruktion, die kritische Technikbewertung, die prognostische Technikfolgenabschätzung und -antizipation sowie die positive, normative Steuerung von technischen Entwicklungs- und Geneseprozessen erwartet. Diese Ausweitung zum forschungsleitenden Grundbegriff, ja zum Knotenpunkt technikgenetischer Forschung überhaupt, hat zwar außerordentlich anregend gewirkt und die wissenschaftliche Debatte überhaupt erst angestoßen, zugleich hat sie aber das Leitbildkonzept von vornherein überfrachtet und theoretisch-methodisch überfordert.

Die Verwendung des Leitbildbegriffes in sehr unterschiedlichen Forschungskontexten mit z.T. recht abweichenden Intentionen zog eine immer stärkere Ausweitung nach sich. Mit zunehmender Inflationierung wurde er unschärfer und heterogener, so daß er immer weniger für konkrete empirisch-sozialwissenschaftliche und technikhistorische Analysen geeignet ist. Nicht selten wird sogar der konkrete Bezug zu bestimmten Techniken gelöst und Leitbild zu einem zunehmend gesellschaftsfernen Universalbegriff einer postmodernen Soziologie, die sozialökonomische Strukturbegriffe in subjektive Wahrnehmungskomplexe und Metaphernwelten auflöst. Aus der Sicht des Empirikers haben viele der von Technikgeneseforschern angebotenen Technikleitbilder denn auch eher den Charakter von sozialwissenschaftlichen Ex-post-Konstruktionen. Schlagworte der technologiepolitischen Diskussion, öffentliche Verlautbarungen mit Rechtfertigungs- oder Werbecharakter, Science-fiction-Visionen werden mit verbindlichen, die Technikentwicklung lenkenden Leitvorstellungen gleichgesetzt, ohne daß hierfür der Nachweis erbracht worden wäre. Dabei rekuriert man vorrangig auf Makroleitbilder wie z. B. "Informationsgesellschaft", die in der Regel zu allgemein und abgehoben sind, als daß

sie das Handeln von Entwicklern oder Technikplanern tatsächlich bestimmen könnten. Die technikgenetische Leitbildforschung verfährt hier autosuggestiv: Die bloße Nennung von scheinbar so einprägsamen, einleuchtenden Leitbildern, wird bereits als Beweis ihrer gesellschaftlichen Wirkungsmacht gehalten. Dabei wird kaum problematisiert, wie man historische Technikleitbildkomplexe überhaupt identifiziert und aufgrund welcher Kriterien und welcher Belege (Erfinderaussagen, Fachzeitschriften, Verbands- und Kongreßmaterialien, Technikprognosen) man die Wirksamkeit konkret nachweisen kann.

Für einen solchen Nachweis ist jedoch zuerst einmal eine mehrfache Ausdifferenzierung des Leitbildbegriffes notwendig. So ist eine Unterscheidung nach den Bedeutungsschwerpunkten: Grundkonzept, prototypisches Problemlösungsmuster, normative Zielsetzung und angestrebtes bzw. utopisches Fernziel einer Technik notwendig. Ebenso muß unterschieden werden, ob es sich um bewußt artikulierte Zielvorstellungen, um ein halb- bzw. unbewußtes Vorverständnis oder einen interessenbedingt verfestigten Rechtfertigungskomplex handelt. Der Begriff muß abgegrenzt werden von anderen, das Ingenieur- oder Entwicklerverhalten prägenden normativen Vorgaben, d.h. von beruflich-professionellen Regeln, Normen und Methoden, Konstruktionsprinzipien und Gesetzesannahmen, Konstruktionsvorschriften aufgrund sozialer Normen und Vorgaben. Ebenso muß er in Beziehung gesetzt werden zu den nicht oder selten bildhaften Orientierungen, die oft mit dem Perspektiven-Begriff belegt werden.³¹ Gegenüber diesen diffusen Orientierungsmustern sind Technikleitbilder identifizierbare, komplexe Zielvorstellungen oder herausgehobene Problemlösungsmuster, deren prägnante Aussageform, Gestaltcharakter oder Bildhaftigkeit entwicklungs- oder konstruktionsleitend wirken *können*. Doch sie sind nicht die a priori wirkenden Ursachen von Technisierungsprozessen, sie wirken vielmehr im Zusammenhang mit einer Vielfalt von Orientierungen und Vorgaben, die alle zusammen den technisch-wissenschaftlichen Problemlösungshorizont ausmachen.³²

Aus der Sicht des empirischen Technikhistorikers muß der Leitbildbegriff daher relativiert, operationalisiert und ausdifferenziert werden, um zu einem soliden Forschungsinstrument zu werden. Die Leitbildanalyse sollte sich erst einmal als ein kritischer Frageansatz verstehen und daher Abstand nehmen von den m.E. überzogenen Ansprüchen, über Leitbilder könnten Technikfolgen bereits im Entstehungsprozeß erkannt und korrigiert werden und mit Hilfe von Leitbildern ließe sich die Technikentwicklung ohne staatliche Interventionen "weich" steuern. Wenn sich frühe Leitbildformulierungen nachweisen lassen, so können diese im Diskurs der Verständigung über Vorverständnisse von Entwicklern und Nutzern über anvisierte Anwendungskonzepte dienen, aber als

Angelpunkt der Bewertung der Potentiale und Folgen *realer* Techniken eignen sie sich nicht. Wegen des prinzipiellen Antizipationsproblems und der üblichen Differenz zwischen "Werkintention" und tatsächlichen Produkteigenschaften und -wirkungen erübrigen sich weder die Technikbewertung noch die Prägungsanalyse. Technikfolgenabschätzungen auf Leitbilddeutungen zu stützen, würde daher in den meisten Fällen zu Zirkelschlüssen führen. Sehr oft lassen sich Leitbildkomplexe auch erst nach der eigentlichen Erfindung im Zusammenhang mit Vermarktungsstrategien und der Suche nach weiteren Anwendungen nachweisen. Auch ein wirkliches Leitbild-*Assessment* könnte daher fast immer erst zu einem Zeitpunkt beginnen, an dem auch die klassische Technikfolgenabschätzung einsetzt.

2.3 DAS PROBLEM DES ÜBERGANGS VON DER REKONSTRUKTIVEN ZUR PROSPEKTIVEN TECHNIKBEWERTUNG

Die theorieorientierte Technikgeneseforschung versteht sich nicht vorrangig als entwicklungsbegleitende Aktions- oder Partizipationsforschung, sondern versucht vor allem, aus einem systematischen Vergleich historischer Rekonstruktionsstudien zu einer Theorie von Geneseprozessen zu gelangen. Daraus entsteht als weiteres zentrales Problem des soziologischen Technikgenese-Ansatzes die Schwierigkeit der Umwandlung der in der Rekonstruktion gewonnenen Erkenntnisse in prospektiv nutzbares Wissen. Auch die techniksoziologischen Forschungen geraten mit dem Übergang zu historisch-rekonstruktiven Ansätzen in das dem Technikhistoriker vertraute, aber in der Regel durch die narrative Darstellungsmethode verdrängte Dilemma, daß mit zunehmender Verfeinerung des Geflechts der Erklärungsvariablen die Übertragbarkeit der Ergebnisse drastisch sinkt. Bildet die retrospektive Analyse die komplizierten Strukturen individueller Akteurskonstellationen oder "Interferenzmuster" der diversen heterogenen "Wissenskulturen" eines Entwicklungsprozesses exakt ab, so ist diese spezifische Situation nicht auf meist anders gelagerte, aktuelle Geneseprozesse übertragbar, zumal wenn unter Wissenskulturen so verschiedene Phänomene wie Thermodynamik, Werkstattprinzip, Serienfertigung, Patentamt oder das Standardisierungswesen verstanden werden.³³ Aus der analytischen Beobachtung der Charakteristika oder Strukturprobleme früherer "technikgenetischer Prozeßnetzwerke" können keine neuen synthetisiert werden. Strukturanalytische Ansätze wie der "actor network approach" und das "heterogeneous engineer"-Konzept von Callon, Latour und Law eignen sich eben nur zur Erklärung vergangener Entwicklungen.³⁴ Eine positive Steuerung von komplexen innovativen Technisierungsprozessen durch die Technikgeneseforschung ist mit diesen Analyseinstrumenten

kaum möglich, da die Tragweite historischer Analogien recht begrenzt ist und diese die Unwägbarkeiten der "decision under ignorance" nicht aufheben. Aufgrund ihrer Kenntnisse über Einstellungen und Sozialverhalten von Techniknutzern können Geneseforscher zwar Entwickler und Produktplaner auf problematische Anwendungskonzepte, Leitbilder und Benutzermodelle der Vergangenheit aufmerksam machen, doch verfügen sie nicht über das Wissen, mit dem sich schädliche Folgen von noch nicht realisierten technischen Neuerungen bereits im Entstehungsprozeß identifizieren und ausschalten ließen.

Die gewaltigen theoretischen und methodischen Probleme der Gewinnung von technikgenetischem Handlungswissen aus Rekonstruktionsstudien lassen sich m.E. nur bewältigen, wenn die Technikgeneseforschung:

- stärker als bisher von der Analyse der sozialen Rahmenbedingungen und der wissenssoziologischen Voraussetzungen des F & E-Bereichs (Organisationskulturen, Organisationsstrukturen, Wissenskulturen, allgemeine Leitbilder und Visionen) zur Analyse der technischen Bauformen und der soziotechnischen Systemarchitekturen vorstößt. Erst auf dieser Ebene kann sie auch mit Entwicklern in einen Dialog über Optionen, Alternativen, problematische Lösungen und falsche Ansätze eintreten.
- ihre allzu kühnen Versprechungen herunterschraubt und sich erst einmal auf eine empirische *Operationalisierung* ihrer Forschungsansätze konzentriert, d.h. zunächst ein differenziertes *analytisches* Instrumentarium entwickelt, das auf der Grundlage von Rekonstruktionen allmählich über die vergleichende zur prospektiven Technikgeneseforschung vordringt. Der struktur- und prozeßanalytische Vergleich soll dabei besonders den verbreiteten Fehler vermeiden helfen, aus der Genese *einer* Technik gleich eine Theorie abzuleiten. Für die Praxisorientierung der Geneseforschung ist vor allem ein Perspektivwechsel von der Ebene der theoretischen Totalkonstruktion der Technikevolution auf die Ebene der konkreten Entscheidungsprobleme des technischen Handelns notwendig.
- das Untersuchungsfeld nicht auf den Vergleich früher Genesephasen mit all ihren Unbekannten und Unsicherheiten konzentriert, sondern statt dessen das historische Wissen über *erkennbare* Folgewirkungen in späteren Phasen des Technologielebenszyklus auf die Entstehungsphase rückbezieht. Denn ein sehr großer Teil von Folgeproblemen resultiert gerade aus der unzureichenden Beachtung späterer Abschnitte des Technologielebenszyklus im Designprozeß, d.h. insbesondere von Folgen aus der

massenhaften Ausbreitung und der Gebrauchs- und Schlußphase einer Technik. Mir erscheint daher ein Forschungsansatz vielversprechender, der gerade die Diffusion, die Reife- und Endphase auf typische Folgewirkungen, Problemlagen und Fehlerkonstellationen hin untersucht und dieses Wissen in Geneseprozesse einbringt. Damit würde die vergleichende Analyse ganzer Technologielebenszyklen und die Aufbereitung ihrer Ergebnisse für Technikplaner und Entwickler ein zentrales Arbeitsfeld der Technikgeneseforschung.

2.4 DEFIZITE DER ANSÄTZE ZUR QUALITATIVEN ANALYSE VON TECHNOLOGIELEBENSZYKLEN

In und außerhalb der Technikgeschichte und -soziologie gibt es eine ganze Reihe von Analyseinstrumenten, mit denen man eine Technik über die Entstehungsphase hinaus bis zur Reife und Endphase strategisch untersuchen kann. Doch alle decken meist nur Teilaspekte ab oder haben im Hinblick auf eine umfassende *qualitative* Bewertung spezifische Mängel. Die wirtschaftswissenschaftlichen Instrumente, wie das Lern- oder Erfahrungskurvenkonzept, die Lebenszyklusanalyse und die Portfolioanalyse beobachten nur monetäre Größen (Stückkosten, Absatz und Ertragsmengenströme).³⁵ Ihnen geht es vorrangig um ein optimales Timing von Innovationszyklen. Innovations- und Diffusionsanalysen erforschen darüber hinaus marktstrukturelle Bedingungen, Ausbreitungskurven und Verhaltensmuster der Innovatoren, gehen aber auf die Techniken selber kaum ein.

Durch die Ökologiebewegung sind zusätzlich die Ökobilanzen und die weitergefaßte Produktlinienanalyse dazugekommen. Sie erlauben eine detaillierte Untersuchung der gesamten Stoff- und Energieströme im Herstellungs- und Anwendungsprozeß von der Rohstofferschließung und -verarbeitung über die Produktion und den Transport bis zum Gebrauch, zum Recycling und zur Endlagerung.³⁶ Die Kombination des sehr komplexen Kriterienrasters der "Produktlinienmatrix" mit dem dynamischen Lebenszyklus-Phasenkonzept führt dabei aber zu einer so großen Zahl von Lösungsvarianten, daß die erzeugte Lösungsexplosion nur durch eine strikte Komplexitätsreduzierung auf wenige definierte Pfade bewältigt werden kann. Dadurch entsteht jedoch eine Diskrepanz zwischen dem erklärten *Ziel*, der Generierung möglichst vieler Varianten für die umweltgerechte Technikgestaltung, und dem *Resultat*, der Wahl zwischen nur sehr wenigen vordefinierten Pfadalternativen.

Auch die Konstruktionswissenschaft bzw. Konstruktionsmethodik hat im letzten Jahrzehnt die späteren Stadien des Produktlebenszyklus, die Gebrauchs- und Endphase, in ihren Katalog von Gestaltungsrichtlinien aufgenommen. Nachdem seit den 20er Jahren die Lohnkostenorientierung mit dem "werkstattgerechten" oder "fertigungsgerechten Konstruieren", dem "montage-" und "automatisierungsgerechten Konstruieren" in der Konstruktionslehre dominierten, traten nach der ersten Ölpreiskrise Mitte der 70er Jahre auch ressourcensparende Gestaltungskriterien in Erscheinung, so vor allem das Instandhaltungs- und das demontage- bzw. das recyclinggerechte Konstruieren.³⁷ Diese neuen normativen Vorgaben wurden allerdings zu den früheren einfach hinzugefügt und dadurch die gravierenden Zielkonflikte zwischen betriebswirtschaftlichen, nutzerorientierten und gesamtgesellschaftlichen Gestaltungszielen ausgeblendet, in die der Konstrukteur durch die Einbeziehung späterer Phasen des Produktlebenszyklus gerät. Dieter Kleim und Walter Wolfgarten haben hier mit ihrem 1975 entworfene "Problemstrukturplan" ein umfassendes systemtheoretisches Produkt- bzw. Technologieplanungsinstrument vorgelegt, mit dem Entwurfsprobleme, Gestaltungsprinzipien und Engpaßfaktoren einzelner Techniken in "Problemkreisen" geordnet werden, so daß die Trade-offs sichtbar werden.³⁸ Dabei berücksichtigen sie strategische Probleme der Systemstruktur ebenso wie kritische Zustände des Systemverhaltens und der Prozeß-Maschine- bzw. Mensch-Maschine-Kommunikation sowie Aspekte der Produktlebensdauer. Insgesamt dominiert beim "Problemstrukturplan" aber noch die statische Perspektive des Einführungszeitpunktes einer Technik.

Andere von Ingenieuren bzw. Ingenieurverbänden geschaffene Bewertungsinstrumente blieben ebenfalls fast ausschließlich auf die Entstehungskonstellation fixiert. So klammert das 1981 vom VDI geschaffene Konzept des "Technologiemanagements", das den überstrapazierten Begriff des "Technologietransfers" konkretisieren sollte, die späteren Phasen völlig aus.³⁹ Im Zusammenhang mit Umstellungsproblemen bei der Einführung der Mikroelektronik entstanden, ist es nie über das Management von betrieblichen Entscheidungsproblemen und Akzeptanzbarrieren der Innovationsphase hinausgelangt. Durch die Ausrichtung auf eine "möglichst reibungslose Umstellung und Modernisierung unserer Volkswirtschaft" kam es hier auch nie zu einem wirklich vorausschauenden Management eines Technologielebenszyklus. Während dieser Ansatz bereits Mitte der 80er Jahre wieder verebbte, hat in den USA die Sorge vor einem "accelerating American decline" verstärkte Anstrengungen für den Ausbau des "Technological Managements" zu einem übergreifenden Steuerungsinstrument in Gang gesetzt, das den gesamten Prozeß von der Technikprognose und Marktbeobachtung über die F&E-Lenkung und den Technologietransfer zur Systemimplementation und -betreuung beim Anwender ab-

deckt.⁴⁰ In diesem Kontext ist auch am Department of Industrial Engineering der Universität Miami der "Total systems approach" des Technological Managements entwickelt worden, der den gesamten "technology cycle" bzw. den "technology flow process" in ökonomischer, sozialer, politischer, kultureller und ökologischer Hinsicht erfassen und steuern möchte.⁴¹ Der Ansatz ist jedoch noch sehr wenig operationalisiert und berücksichtigt weder die konstruktionsmethodischen Erkenntnisse noch die mit den Ökobilanzen entstandenen Bewertungsinstrumente. Wegen der starken Fixierung auf den Technologiewettbewerb der USA mit Japan fallen im amerikanischen Technologiemanagement die Phasen nach der Markteinführung sowie die sozialen und ökologischen Folgeprobleme von Techniken ohnehin kaum in Betracht, es geht auch hier fast überwiegend um finanzielle, organisatorische und personelle Strategien für erfolgreiche *Innovationsprozesse*.

Den auf einen engen Ausschnitt der Technikentwicklung fixierten Analyse-, Bewertungs- und Gestaltungskonzepten stehen philosophisch-werttheoretische Ansätze gegenüber, die weit über der Ebene von Entscheidungsprozessen des Technologielebenszyklus stehen. So läßt sich die 1991 verabschiedete VDI-Richtlinie 3780 "Technikbewertung, Begriffe und Grundlagen" auf keine konkreten Probleme von Geneseprozessen ein. Sie versteht ihr Programm einer "innovativen Technikbewertung" vorwiegend als eine werttheoretische Systematik und beschreibt das technische Handeln recht abstrakt als eine Regelstrecke, die durch Zielempfehlungen und gesellschaftliche Werte als Stellgrößen zu regeln ist.⁴² Die Übertragung der Regelkreismetapher auf den Bewertungs- bzw. Gestaltungsprozeß selbst überspielt dabei die immensen Vermittlungsprobleme und Zielkonflikte. An den Problemen der Umsetzbarkeit von ingenieurethischen Verhaltenskodizes hat sich denn in letzter Zeit auch eine Kontroverse innerhalb des VDI entzündet. Um der Abstraktheit von Leitsätzen zu entgehen, schlägt Kurt A. Detzer einen Bewertungs- und Gestaltungsansatz vor, der den gesamten Produktlebenszyklus mit inhaltlichen bzw. Verfahrens-Leitbildern wie Risikoanalysen, integriertem Umweltschutz und recyclinggerechtem Konstruieren begleitet, die teils der TA und den Ökobilanzen, teils der Konstruktionslehre entlehnt sind.⁴³ Dadurch wird gegenüber berufsmoralischen Regeln und allgemeinen staatlichen Rechtsnormen ein wesentlich höherer Konkretisierungsgrad erreicht, der den Ingenieuren die praktische Umsetzung erleichtert. Da nach dem Vorbild Dierkes die verhaltens- und design-steuernden Technikleitbilder jedoch vornehmlich in der "Unternehmenskultur" verortet werden sollen, um so nach Möglichkeit die Ge- und Verbote staatlicher Regulierung zu vermeiden, droht dieser Ansatz die zwar abstrakten, aber doch moralisch verbindlichen Ethik- und Rechts-

normen in mehr oder weniger vieldeutige, situationsabhängige, Markt- und Modenunterworfenen Technikleitbildern aufzulösen.

In der neueren Technikgeschichte ist schließlich ein sehr umfassender Ansatz entstanden, der die systemtheoretische Technikanalyse mit der dynamischen Langzeitperspektive verknüpft. Die von Thomas P. Hughes ausgehende "large system history" hat den Wandel der Systemstruktur großer technischer Systeme über den gesamten Technologielebenszyklus hinweg beschrieben und ist damit in vielem wegweisend für die sozialwissenschaftliche Technikforschung geworden.⁴⁴ Hier wurden besonders auch Ungleichgewichte, Systemkontroversen, Engpaß- und Problemsituationen herausgearbeitet, die für eine antizipierende Technikbewertung ein wichtiger Ausgangspunkt hätten sein können. Doch trotz des eigenen Anspruchs, mit seinen Arbeiten zu einer Kontrolle und Steuerung komplexer technischer Systeme beizutragen,⁴⁵ ist Hughes der Übergang vom Rekonstruktionskonzept zu einem Gestaltungsansatz, der Strukturprobleme von Techniken prospektiv bewertet und alternative Optionen gedanklich durchspielt, bisher nicht gelungen. Das liegt zum einen an den prinzipiellen Schwierigkeiten bei der prospektiven Wendung rekonstruktiven Wissens, zum anderen aber auch an konzeptionellen Grenzen der bisherigen "large system history".⁴⁶

So kennt das Hughessche Stufenmodell von lokalen zu nationalen oder globalen Systemen keine Alternative zum Größenwachstum technischer Systeme. Dem Historiker wird bei ihm die Rolle eines retrospektiven Systemmanagers zugewiesen, der in den frühen Phasen der Technikentwicklung lediglich Hemmnisse und Probleme der Systementfaltung aufspürt und in den späteren die abnehmende Innovations- und Kontrollfähigkeit der etablierten Großsysteme konstatiert. Hughes identifiziert sich so sehr mit dem Erfinder, Hersteller bzw. Betreiber des Systems, daß er die schädlichen Folgen für Beschäftigte, Nutzer und die Umwelt weitgehend übersieht. Das in der Tradition Schumpeters stehende "systembuilder"-Konzept schließlich versperrt die Sicht auf die sozialen und ökologischen Probleme der Gestaltung von Systemen. Bei ihm ordnet der Systembauer alle disparaten und widerstrebenden Faktoren auf geniale Weise zu einer kohärenten Einheit. Die gewaltigen Abstimmungsprobleme zwischen technischen Wirksystemen, Arbeits- und Nutzungssystemen in der Genesephase geraten dadurch ebenso wenig in den Blick wie die Frage nach unterschiedlichen Optionen und Alternativlösungen. Insgesamt bietet das systemhistorische Konzept für eine Erforschung von Technologielebenszyklen aber gute Anknüpfungspunkte. Denn es ist nicht auf Einzelaspekte beschränkt und setzt - im Unterschied zu den auf Wert- bzw. Zielkatalogen, Matrix- oder Szenariomethoden basierenden Ansätzen - bei den dynamischen Entwicklungspro-

zessen an. Sein analytisches Potential für eine gestaltungsorientierte Technikgeneseforschung kann jedoch erst durch einen Aus- und Umbau des ursprünglichen Ansatzes voll erschlossen werden. Wie ergiebig ein modifizierter "system history approach" für die aktuelle Technikbewertung sein kann, zeigt die schwedische Energiewende-Studie von Kaijser, Mogren und Steen, die m.W. weitestgehende Verknüpfung einer technikhistorischen und einer systemtechnischen TA-Studie. In ihr wird gerade die Fähigkeit der systemhistorischen Betrachtungsweise zur Erfassung dynamischer Langzeitprozesse für die prospektive Bewertung eines energietechnischen Strategiewechsels genutzt.⁴⁷

3. ANALYSEINSTRUMENTE FÜR DIE REKONSTRUKTIVE UND PROSPEKTIVE TECHNIKGENESEFORSCHUNG

Wie eine Operationalisierung der historischen Technikgeneseforschung aussehen könnte, soll der folgende Teil mit einem Überblick über ein Bündel von Analysemethoden zeigen, die für das kritische Durchkämmen von Techniken in der Ingenieurausbildung entwickelt bzw. aus vorhandenen Ansätzen weiterentwickelt wurden. In ihm finden sich neben einem zentralen, strikt am Technologielebenszyklus ausgerichteten Untersuchungs- und Bewertungsinstrument drei Analyseansätze, die durchgängige bzw. phasenübergreifende Aspekte von technischen Genese- und Entwicklungsprozessen betreffen. Da ist 1. die *Prägungsanalyse*, die in Rekonstruktionsstudien, ausgehend von den jeweiligen Akteurs- und Interessenkonstellationen, deren zeitweilige oder dauerhaft prägende Einflüsse auf die Zweckbestimmtheit von Hard- und Softwarestrukturen einer Technik erst einmal nachweist und die für die Analyse aktueller Technikgeneseprozesse versucht, den rekonstruktiven "technological style"-Ansatz prospektiv zu wenden. Da gibt es 2. die *historische Leitbildanalyse*, die nach der tatsächlichen Existenz und spezifischen Wirksamkeit von Technikleitbildern fragt, dafür spezielle Untersuchungsmethoden entwickelt, um für die prospektive Technikbewertung problematische Leitbildkomplexe, inadäquate Benutzerbilder und Leitbildübertragungen der Vergangenheit herauszuarbeiten. Da ist 3. die *vergleichende Systemstreithistorie*, die umstrittene Pfadentscheidungen analysiert und nach typischen Ablaufmustern von herausragenden Technikkontroversen forscht, um mögliche Anhaltspunkte für die Bewertung gegenwärtiger Systemstreite zu liefern. Den Kern dieses analytischen Instrumentariums bildet jedoch 4. der sogenannte *Dynamische Problemstrukturplan*, d.h. eine Typologie von Problemstrukturen und Fehlersituationen in Technologielebenszyklen, die aus dem historischen Vergleich verschiedener Techniken entstand und für eine prospektive Technikbewertung modellartig aufbereitet wird. Dieses dynamische Strukturmodell wird recht

komplex und soll hier nur in Umrissen wiedergegeben und anhand zweier Ausschnitte genauer vorgestellt werden. Auch das konkrete Zusammenspiel der verschiedenen Analyseinstrumente, das nur anhand genauerer Technikanalysen zu zeigen wäre, kann in dieser Skizze des 'Methodenbaukastens' nur angedeutet werden.

3.1 DIE HISTORISCHE PRÄGUNGSANALYSE UND DAS PROSPEKTIVE TECHNIKSTILKONZEPT

Die Prägungsanalyse knüpft vor allem an Forschungen von David Noble und an das Technological Style-Konzept von Hughes an.⁴⁸ Sie hat bei der Rekonstruktion von Geneseprozessen im wesentlichen zwei Aufgaben: Sie soll erstens die Vorprägung von technisch-wissenschaftlichen Problemlösungshorizonten durch bestehende Lösungsansätze, Leitbilder oder andere Vorstellungskomplexe ermitteln und zweitens zeigen, wie sich spezifische Akteurs- und Interessenkonstellationen real in der Artefaktgestaltung bzw. in soziotechnischen Systemarchitekturen niedergeschlagen haben. Auf der Grundlage der rekonstruktiven Ergebnisse ist dann zu prüfen, wie sich das Stil- bzw. Prägungskonzept für die prospektive Technikbewertung nutzen läßt.

Gerade für das Frühstadium einer Technik spielt die Prägungsanalyse eine besonders wichtige Funktion. Denn technische Artefakte, Verfahren und Systeme sind keine Schöpfung aus dem Nichts, sondern auf vielfältige Weise durch die vorhandenen Technostrukturen und den jeweiligen Stand des gesellschaftlichen Bewußtseins, aber auch durch soziale und professionelle Konventionen "vorbelastet". Selbst wenn sie es wollten, können sich die Erfinder, Konstrukteure und Entwickler von dem sie prägenden Erbe der Vergangenheit nicht einfach durch einen voluntaristischen Akt freimachen. Sie können sich bestenfalls störende und ihren Handlungsspielraum einengende "Vorfixierungen" ins Bewußtsein rufen und dadurch leichter überwinden. Die Momente der Prägung bzw. Einengung des technisch-wissenschaftlichen Problemlösungshorizontes sind dabei sehr unterschiedlich. So lassen sich z.B. immer wieder Vorfixierungen anthropologischer Art erkennen: die zu entwickelnde technische Lösung wird als Imitation bzw. Substitution von Naturprozessen oder Körperfunktionen, als Organprojektion begriffen. Wie die Metaphern des den Vogelflug nachahmenden Lilienthalschen Flugzeuges oder des von vornherein mit zwei Armen ausgestatteten ersten britischen Industrieroboters zeigen, erhält das technische System dadurch ein zu hohes Komplexitätsniveau, das mit den vorliegenden technischen Mitteln nicht zu bewältigen ist. Nur wenn es, wie z.B. im Falle des Bell'schen Telefons, gelingt, komplexe biologische bzw. physiologische

Vorgänge in sehr einfache mechanische Prozesse zu übersetzen und sich rechtzeitig von dem lebenden Vorbild zu lösen, erweisen sich anthropomorphe technische Lösungswege nicht als Fessel oder Irrweg.

Bedeutender als anthropologische Vorfixierungen sind bei der Technikgestaltung jedoch Vorbelastungen durch bereits realisierte technische Artefakte und Systeme. Spektakuläre Fälle sind z.B. die Anlehnung des Entwurfs der frühen europäischen Eisenbahnwaggons an die Postkutsche und der amerikanischen an das Hausboot, die Konzipierung der ersten Automobile als Kutschen mit Motor oder die Gestaltung der frühen Gaslampe nach dem Vorbild des Kerzenlichtes bzw. der anfänglichen elektrischen Beleuchtung nach dem Muster der Gasbeleuchtung. Ein eindringliches Beispiel aus der jüngsten Vergangenheit ist die Geschirrspülmaschine: die Produktgestaltung der ersten Typen war vom Waschbecken oder Waschtopf bzw. Wäschetrommel abgeleitet, und der Elektroantrieb war dabei als reines Substitut der rotierenden Armbewegung konzipiert. In all diesen Fällen mußte für die neue Problemlösung erst eine adäquate prozeßkonforme Gestaltung entwickelt werden, bei manchen wie z.B. beim Geschirrspüler mußten sich die Konstrukteure sogar erst ganz von den früheren Lösungsmustern emanzipieren, um zu neuen Wirkprinzipien und Gestaltungsmerkmalen vorzustoßen. Die technikhistorische Reflexion dieses Sachverhaltes im Rahmen konstruktionswissenschaftlicher Überlegungen kann nun nicht, wie betont werden muß, aufgrund historischer Analogien feststellen, diese "Übertragung" konventioneller Lösungsmuster auf neue Produkte und Verfahren ist richtig und prozeßkonform, jene dagegen ist falsch und eine zwitterhafte Übergangstechnik. Eine systematische Analyse des Phänomens der partiellen technischen Modernisierung bzw. von Übergangs- und Hybridlösungen kann dem Ingenieur jedoch vor Augen führen, daß ein Ablösungsprozeß ein häufiger Fall, wenn nicht der Normalfall ist und welche Widerstände diesen Wechsel technischer Problemlösungskonzeptionen behindern.

Während die Analyse von Prägungen der Produktgestalt durch frühere Techniken bei Technikhistorikern recht beliebt ist, wurde die weitaus wichtigere Erforschung der Umorientierung von Konstrukteuren auf neue Basis- oder Leittechniken von ihnen ziemlich vernachlässigt. Beobachtungen anhand von Fachzeitschriften deuten darauf hin, daß es sich hierbei meist nicht um kontinuierliche Übergänge handelt, sondern auf eine Phase der Abwehr bzw. eines zögernden Interesses oft abrupt ein volles Einschwenken auf die neue Technik folgt. Sie wird nun zur alle Aufmerksamkeit auf sich ziehenden Leit- und Schwerpunkttechnik, und die Lösung anstehender technischer

Probleme scheint nur durch sie optimal gewährleistet. Dabei wird nicht nur das mögliche Anwendungsspektrum oft völlig unreal eingeschätzt, sondern auch Grad und Geschwindigkeit der Verbreitung werden meistens stark überbewertet. Ein gutes Beispiel hierfür ist die Einstellung der Ingenieure gegenüber der Integration von Bauelementen und der Digitalisierung der Kommunikationstechnik, der Meß- und Regelungstechnik usw. Während die integrierte digitale Schalttechnik von Nachrichten- und Regelungstechnikern zunächst als Modeerscheinung ("Digitalitis") abgelehnt wurde, verkannten (und verkennen) sie nach deren Akzeptanz die immer noch recht beträchtliche Bedeutung der Analogtechnik, der Röhrentechnik sowie vor allem der diskreten, passiven Bauelemente, mit denen in Hybridmodulen nicht selten schnellere und individuellere Lösungen möglich waren als mit der langwierigeren IC-Entwicklung. Auch in der Meß- und Regelungstechnik hat die Fixierung auf mikroelektronische Schaltungen und Bauteile zu einer Vernachlässigung nicht-elektronischer, vor allem pneumatischer und mechanischer Steuerungen und Regelungen geführt, die nach wie vor erforderlich sind. Ein namhafter Hersteller von Maschinensteuerungen sah sich deshalb veranlaßt, eine Loseblattsammlung über pneumatische Bauteile rechner- bzw. datenbankmäßig aufzubereiten, um zu verhindern, daß die Konstrukteure sie bei ihrer Entwicklungsarbeit außer acht lassen und die Mikroelektronik die gesamte Maschinenbau-Kreativität kanalisiert.

Anders als der vielfach von Fachzeitschriften vermittelte Eindruck zeigt die Langzeitbeobachtung der Ausbreitung von Mikroelektronik und Digitaltechnik, daß es sich hierbei nicht um einen raschen Verdrängungsprozeß von konventionellen Bauelementen durch ICs handelt, sondern um einen langsamen und komplizierten Vorgang, bei dem die Integration alte Bausteine verschwinden läßt und gleichzeitig neue Einsatzfelder für konventionelle Bauelemente schafft. Sowohl in der BRD als auch in den USA stellt die Gruppe der diskreten passiven Bauelemente noch bis in die 2. Hälfte der 80er Jahre wertmäßig den größten Anteil an der Gesamtproduktion dieser Warenklasse. Der Strukturwandel ist in der Regel eben kein schneller und totaler Wechsel von technischen Monokulturen, sondern eine Schwerpunktverlagerung innerhalb einer Pluralität technischer Lösungsmuster. Aus ihnen sollte der Konstrukteur daher die für die Aufgabe und das Bedarfsniveau am besten geeigneten auswählen und sie kunstvoll kombinieren, statt seinen Suchraum einseitig immer auf die jeweils letzte High-Tech-Basistechnologie auszurichten. Mir scheint, daß eine Kritik der Vorstellungen von Ingenieuren über technische Wandlungsprozesse im Rahmen der Ingenieurausbildung auch deshalb nicht unwesentlich ist, weil hinter derartigen Fixierungen oft grundsätzlichere Verengungen des technisch-wissenschaftlichen Problemlösungshorizontes stecken: nämlich ein quasi darwinistisches Ex- und Hopp-Denken, das sich gegenüber einer Vielfalt von Lösungsmög-

lichkeiten verschleißt sowie eine Tendenz zur Unterordnung von komplexen technischen bzw. soziotechnischen Problemlösungen unter die Entwicklungsdynamik von Komponententechnologien.

Die zweite Aufgabe, der Nachweis des konkreten Einflusses von Akteurs- und Interessenkonstellationen auf die Artefaktgestaltung bzw. die soziotechnischen Systemarchitekturen, versteht sich als ein kritisches Korrektiv zu dem in der historischen, aber noch mehr in der soziologischen Geneseforschung unterstellten direkten Zusammenhang zwischem dem sozialen Entstehungskontext bzw. den Leitbildern und der hard- oder softwaretechnisch fixierten Zweckbestimmtheit der hervorgebrachten Techniken. Denn die Differenzen zwischen erklärten Leitbildern und tatsächlich realisierten Produkten können oft beträchtlich sein. Dies zeigt besonders eindringlich das in der Informatik breit diskutierte Gruppenarbeits-Softwaresystem "Coordinator".⁴⁹ Von den Designern Winograd und Flores als ein menschlichen Kommunikationsformen besonders adäquates Werkzeug entworfen, erwies es sich in der praktischen Nutzung als ein nahezu perfektes Überwachungsinstrument. Die eindimensionale Prägungsthese übersieht oft auch die mannigfachen Umprägungen sowie den Sachverhalt, daß entstehungsbedingte Struktureinflüsse für die späteren Nutzer dieser Systeme nahezu ohne Belang sein können. Dies ist nicht selten in der Datenverarbeitung und Computerkommunikation der Fall, so z.B. bei der "Von Neumann-Architektur" von Computern und dem Schichtenmodell für die offene technische Kommunikation in Rechnernetzen, dem OSI-Referenzmodell, deren Strukturierung jeweils aus Abstraktionen sozialer Organisation und Arbeitsteilung abgeleitet werden kann, ohne daß sich dies noch sozialspezifisch auf die Nutzungsakte auswirken würde. Die Prägungsanalyse muß also den Zusammenhang zwischen der einflußnehmenden Akteurskonstellation, Leitbildern und der tatsächlichen Realisation und Nutzung des Produktes erst einmal nachweisen.

Schließlich soll auf der Basis der rekonstruktiven Prägungsanalyse das technische Stil-Konzept prospektiv gewendet werden. Hughes hatte durch den Nachweis unterschiedlicher regionaler Ausprägungen von Lösungsmustern nachgewiesen, wie verschieden formbar im Prinzip Techniken sind. Doch, als Infragestellung eines deterministischen Technikverständnisses bestens geeignet, versagte das Konzept als Gestaltungsansatz. Denn wenn eine regional- oder unternehmensspezifische Techniklösung die Umgebungsbedingungen genau abbildet, so ist die Übertragung in ein anderes Milieu nur als Stilbruch oder Technik-Oktroy möglich. Das logische Dilemma des konsequent sozialkonstruktivistischen Ansatzes verhinderte, daß das Technikstilkonzept über einen Rekonstruktionsansatz hinaus kam. Das prägungsanalytische Dilemma läßt sich nur

überwinden, wenn man einer Technik nicht von vornherein einen soziostrukturellen Abbildcharakter zuspricht und die Inkongruenz von Sozial- und Technostruktur als einen Normalfall ansieht. So hat Hughes selbst gezeigt, daß der Momentumeffekt reifer Techniken oft frühere Interessenlagen materiell konserviert.⁵⁰

Ebenso haben die historische Techniktransfer-Forschung und Arbeit- und Technikforschungsansätze speziell in Skandinavien schon länger ermittelt, wie es durch den Technologietransfer immer wieder zum Import anders gelagerter Sozial- und Organisationsstrukturen kommen kann.⁵¹ Die Prägung durch den ursprünglichen Entstehungskontext muß dann durch eine Anpassung an die neuen Umgebungsbedingungen erst einmal korrigiert werden. Aktuelle Beispiele aus dem Bereich der Informations- und Kommunikationstechniken belegen derartige unfreiwillige Importe: Die viel umfassenderen Zugriffsrechte amerikanischer Arbeitgeber auf alle Betriebsmittel und Arbeitsdateien des Personals haben zu der großen Datenschutzlücke bei Personalcomputern, Electronic Mail Systemen und elektronischen Kalendern sowie bei Netzwerk-Managementsystemen beigetragen. Noch fataler ist die Sorglosigkeit bei einigen breitbandigen Multimediasystemen mit ihren in allen Arbeitsräumen, Fluren, Kantinen präsenten Monitoren, die so mit westeuropäischen Betriebskulturen unvereinbar sind. Diese Beispiele deuten an, wie nützlich eine prospektive Wendung des technikhistorischen Regional Style-Konzeptes für die aktuelle Technikbewertung sein könnte.

3.2 ANSÄTZE ZUR OPERATIONALISIERUNG DER RETROSPEKTIVEN UND PROSPEKTIVEN LEITBILDFORSCHUNG

Das Analyseinstrument der vergleichenden historischen Leitbildanalyse verknüpft historische und soziologische Technikgenese-Forschungsansätze. Sie wird, im Unterschied zu dem bisher weitgehend Programm gebliebenen sozialtechnischen Leitbildassessment als ein kritischer Frageansatz verstanden, der erst einmal die tatsächliche Wirksamkeit von Leitbildern in der Entstehung und Entwicklung von Techniken untersucht. Sie soll damit auch einen Beitrag dazu liefern, die gewaltigen empirischen Lücken der bisherigen Leitbildforschung zu schließen. Für einen operationalisierten technikhistorischen Forschungsansatz muß der Leitbildbegriff zunächst spezifiziert und sozial ausdifferenziert werden. Denn Technikleitbilder sind nicht flächendeckend verbreitet und wirksam. Sie sind vielmehr gruppenspezifisch gestreut und gewichtet, sie haben in den verschiedenen scientific und engineering communities eine unterschiedliche Bedeutung. Dabei gibt es in der Regel nicht jeweils nur ein monolithisches Leitbild, sondern es konkurrieren

oder durchmischen sich verschiedene Leitbildkomplexe. Über den Zusammenhang von individuellen, gruppenspezifischen und kollektiven Leitbildern herrschen bislang noch recht unscharfe und vereinfachende Vorstellungen. Da die historischen Quellen hier meist zu lückenhaft sind, ist der Rekurs auf historische Leitbilder für diese Frage vielleicht gar nicht so ergiebig. Eine gegenwartsbezogene Konstrukteurbefragung auf der Basis qualitativer Interviews käme hier womöglich wesentlich weiter.

Neben der sozialen Ausdifferenzierung ist eine Unterscheidung nach inhaltlichen Schwerpunktsetzungen notwendig. Es gibt primär *technische* und primär *gesellschaftliche* Technikleitbilder sowie beide Sphären vermittelnde *soziotechnische* Leitbilder. Technische Leitbilder wie z. B. Sammelschienen- und Blockkraftwerk, "Breitbandnetze für jede Bitrate" und "Integrierte Optik" formulieren ein strategisches Entwicklungsziel ausschließlich als technisches Lösungsprogramm. Soziotechnische Leitbilder verknüpfen demgegenüber konkrete technische Visionen oder Lösungsmuster mit einem Nutzungskonzept, mit sozialen Organisationsmodellen oder einer gesellschaftlichen Problemsituation. Beispiele hierfür sind Fern- und Nahkraftwerk, "Information Utilities" und "Mensch-Maschine-Symbiose", Software-Engineering und Software-Factory. Gesellschaftliche Technikleitbilder schließlich richten sich ausschließlich auf das Nutzungsprogramm sowie auf den sozialen, arbeitsorganisatorischen Kontext ohne Bezug auf die jeweilige technische Umsetzung. Das "Papierlose Büro", das Just-in-Time-Prinzip und die Telenarbeit sind hierfür viel diskutierte Beispiele. Die Beziehung zwischen diesen Schwerpunktbereichen ist kein einfaches, lineares Kausalverhältnis, sondern eine ständige Wechselwirkung. Technische Leitbilder können nach der Realisierung des Artefakts bzw. Systems soziotechnische oder gesellschaftliche Leitbilder in Gang setzen und umgekehrt. Es scheint jedoch, folgt man dem auffälligen Mangel an konkreten gesellschaftlichen Zielvorstellungen oder Anwendungskonzepten in der Frühphase vieler historischer und aktueller Geneseprozesse, daß primär technische Zielsetzungen mit einem noch völlig diffusen Nutzungsspektrum als Auslöser technischer Entwicklungen dominieren.⁵² Damit wäre aber die Erwartung des Leitbild-Assessments in Frage gestellt, bereits aufgrund früher Leitbildformulierungen Geneseprozesse sozial zu beeinflussen oder zu steuern, bevor Investitionen gebunden werden, "die Korridore festgelegt" sind und die "unsichtbaren Selektionsfilter" wirken.⁵³

Für eine prospektive Wendung der historischen Leitbildanalyse bedarf es aber noch spezieller vergleichender Auswertungs- und Aufbereitungsmethoden. Ein Ansatz wäre hier die *Kritik überschießender Leitbilder*. Denn in vielen Erfindungen und Entwicklungen kommt es nach dem anfänglichen Mangel an Leitbildern vor und während der Innova-

tion zu einer, das konkrete technische Nutzungspotential meist überfordernden Leitbildhäufung. Da sich diese überschießenden Produktmythen und Leitbildformulierungen regelmäßig wiederholen, könnte eine Aufbereitung historischer Leitbildentwicklungen hier behutsame Selektionsaufgaben wahrnehmen. Ein zweites Instrument wäre eine Zusammenstellung von notorisch erfolglosen Wandermythen technischer Revolutionen. Damit sind Leitbilder wie etwa die Telearbeit, das Teleshopping oder die Elektronische Zeitung gemeint, die sich nach der Erfindung bzw. Einführung von Datenfernverarbeitung, Time-Sharing, Teletext, Btx, Zweiwegkabelkommunikation, Schmalband-ISDN und Breitband-ISDN jedes Mal wieder neu einstellen. Die Analyse der Gründe für das frühere Scheitern (die meist inadäquaten "Benutzermodelle", verkürzte Rationalisierungsstrategien sowie die Fehleinschätzung des arbeitsweltlichen oder lebensweltlichen Kontextes) könnten Hinweise für eine Kritik der aktuellen Neuauflage des entsprechenden Leitbildes geben.

Schließlich könnte aus der historischen Analyse der Entstehung von *Leitbildketten* bzw. *Leitbildfamilien* und der in ihnen wirkenden 'Vererbungs'-mechanismen bzw. -beziehungen ein analytisches Bewertungsinstrument geschaffen werden, mit dem begrenzte prospektive Technikaussagen möglich sind.⁵⁴ Denn wenn z. B. ein "Central Command and Control-System", dessen soziotechnische Systemarchitektur auf militärische Kommandostrukturen zurückgeht, als Leitbild für zivile Informationssysteme gewählt wird, dann erbt dieser neue Bereich u.U. die internen Strukturprobleme und Widersprüche des zentralistisch-hierarchischen Vorbildes. Andererseits kann eine Analyse von Struktur- und Milieudifferenzen zwischen Quell- und Zielbereich Anhaltspunkte für einen problematischen Leitbildtransfer liefern. Dies gilt für die genannte Leitbildkette, aber auch für die Leitbildfamilie: Volksempfänger, Volkswagen, Volksfernseher, Volkskühlschrank, die als jeweils besonders einfache, populäre Großserienversion vor dem Zweiten Weltkrieg in Deutschland und den USA propagiert und mit dem Volkcomputer bzw. der Volksdatenbank (Btx) in der Gegenwart wieder aufgegriffen wurde.

Beispiele sind die sog. "smart technologies" (Intelligente Steuerungen, Sensoren, Netze, "intelligent buildings" und "smart electronic homes"), Teleprozesse wie Telearbeit, Telemedizin, Telebanking und Teleshopping sowie die Übertragung des Konzeptes der Fertigungsinsel auf Konstruktion und Verwaltung in Gestalt der "Konstruktionsinsel" und der "Sachbearbeitungsinsel".

Aufgabe des sozialwissenschaftlichen Leitbildforschers wäre es hier, Vorverständnisse und Fixierungen bewußt zu machen, den Interessenbezug von Leitbildern aufzuzeigen und dadurch auf die Notwendigkeit des Aushandelns von Leitbildern hinzuweisen. Doch auch auf einem solideren empirischen Fundament sollte sich die Leitbildanalyse nur als ein Instrument der Kritik bzw. als techniknahes, hermeneutisches Konzept zur Verständigung über Zielsetzungen technischen Handelns begreifen. Ein darüber hinausgehendes sozialtechnisches 'Management by visions' ist für die wirkliche Steuerung von Technisierungsprozessen meist viel zu diffus und widersprüchlich und droht leicht in einem reinen Akzeptanzmanagement zu enden. Die mit dem Leitbildassessment genährte Hoffnung, negative Technikfolgen könnten anhand von Leitbildern schon im Geneseprozess antizipiert und beseitigt werden, erinnert aber an das berühmte Zitat aus dem Kantschen Fakultätenstreit: "Wie ist aber eine Geschichte a priori möglich? Antwort: wenn der Wahrsager die Begebenheiten selber *macht* und veranstaltet, die er zum voraus verkündet".⁵⁵

3.3 DIE VERGLEICHENDE SYSTEMSTREITHISTORIE ZUR ANALYSE KONTROVERSER PFADALTERNATIVEN

Systemstreite sind herausragende Technikkontroversen, die über die alltägliche Konkurrenz zwischen unterschiedlichen Lösungsvarianten hinausgehen und in der fachlichen und allgemeinen Öffentlichkeit ausgetragen werden. Sie können bei Verzweigungssituationen in der Frühphase oder noch mehr nach der ersten Ausbreitungsphase einer Technik auftreten, und zwar vor allem dann, wenn aus Kosten- oder Kompatibilitätsgründen nicht mehrere Pfadalternativen gleichzeitig möglich sind. Sie betreffen daher besonders technische Großsysteme mit hohem Verkopplungs- bzw. Vernetzungsgrad, also leitungsgebundene Infrastrukturtechniken für die Energie- und Informationsversorgung sowie für den Transport. Das gemeinsam genutzte technische Medium und die meist extrem hohe Fixkostenintensität schließen gerade hier die Konkurrenz unterschiedlicher Lösungen und das Offenhalten von Alternativen aus. Systemstreite können aber auch in nicht-vernetzten Technikbereichen auftreten, wenn eine grundlegende Neuerung auf

den geballten Widerstand eines "Entwicklungsblockes" oder eines stabilen "Akteurnetzwerkes" stößt.⁵⁶ Schließlich kann allein schon der Bestand großer Investitionsvolumina (Produktionskapital, Gerätebestand, Software-Altlasten) eine technische Entwicklungsrichtung so träge gegenüber Neuerungen und Umstellungen machen, daß sich hier die normale Konkurrenzsituation zu einem Systemstreit hochschauelt. Dabei kommt es immer dann zu einem besonders scharfen Konflikt, wenn kein Migrationspfad zwischen den feindlichen Techniklinien etwa in Form eines Gleich- oder Wechselrichters, eines Gateways oder eines Programm-Konvertierers möglich ist und für Hersteller wie Nutzer ein Bruch mit der herkömmlichen Lösung unumgänglich würde.

Große Technikkontroversen haben in der Technikgeschichtsschreibung seit jeher einen hohen Stellenwert gehabt, jedoch wurden sie meist als Auseinandersetzung zwischen einzelnen Erfindern oder Unternehmern dargestellt. Dabei versperrte die heroische Sichtweise und die meist selbstverständliche Identifikation mit den Siegern den Blick für die prinzipielle Bedeutung derartiger Pfadentscheidungen für technische Entwicklungsprozesse. Erst der systemhistorische Ansatz von Hughes und darauf aufbauende Arbeiten von Arne Kaijser haben Systemstreite als ein generelles Kennzeichen der Lebenszyklen von "large technological systems" erkannt. Anhand der Konflikte in der Elektrizitätsversorgung (Gleichstrom - Wechselstrom/Drehstrom), der Gasversorgung (Tranöl - Steinkohlengas, später Kokereigas - Erdgas), der Wasserversorgung (Oberflächen- oder Grundwasser), der Fernwärme (Dampf oder Heißwasser) und der Telefonie (Einzel- oder Doppelleitungen) kamen Kaijser wie Hughes zu dem Schluß: "Es scheint ein nahezu generelles Muster für derartige Systeme zu sein, daß nach der ersten Etablierung ein Konflikt zwischen Vertretern abweichender Systemanforderungen entsteht"⁵⁷. Die Systemstreithistorie gelangte bisher jedoch über einen Erklärungsansatz für *vergangene* Entwicklungsprozesse nicht hinaus, da die verallgemeinernde Auswertung steckenblieb und die Anwendung auf laufende Technikkontroversen gar nicht erst versucht wurde. Die vergleichende Systemstreithistorie möchte daher erkunden, ob durch eine Systematisierung typischer Ablaufmuster von Technikkontroversen ein Instrument für die prospektive Technikbewertung gewonnen werden kann. Zugleich soll durch die Analyse von Systemstreiten in einzelnen Techniken getestet werden, inwieweit dieses Instrument auch zum Nachweis verschütteter Alternativen taugt.

Während Hughes, Kaijser und die "large system history" vor allem Energie-, Transport- und Versorgungssysteme untersucht haben und hierbei vorrangig die zentralen Ausscheidungskämpfe im Blick hatten, ergibt eine die Informations- und Kommunikationstechniken einbeziehende Analyse recht unterschiedliche Ausprägungen und Verlaufs-

formen von Systemstreiten. Die spektakulären Kontroversen, bei der eine Richtung die anderen schnell aus dem Felde schlägt, ist dabei nur *ein* Ablaufmuster, das in der Technikgeschichte gar nicht einmal so häufig auftritt. Beispiele hierfür sind der Sieg der Straßenbahn mit Stromzuführung über den Akkumulatorenbetrieb, der überirdischen Stromzufuhr über die unterirdische, der Standbahn über die Schwebebahn bei den Stadt- und Schnellbahnen, des Schrägspurverfahrens über das Längsspur- und Querspurverfahren bei der Videorecorder-Aufzeichnungstechnik.⁵⁸ Die komperativen Nutzungsvorteile, die Systemkosten oder - wie im Falle der Standbahn gegenüber der Schwebebahn - die Marktmacht, waren bei der obsiegenden Richtung so eindeutig und durchschlagend, daß es in diesen Fällen zu einer raschen und meist *vollständigen Substitution* kam.⁵⁹ Häufiger als *schnelle Wechsel* sind jedoch *langsame Ablösungsprozesse*, da in der Regel die Überlegenheit eines Verfahrens bzw. eines Lösungsprinzips erst allmählich hergestellt oder wahrgenommen wird und auch das in die etablierte Richtung investierte Fixkapital und Know-how bremsend auf den Substitutionsvorgang wirken. Beispiele hierfür sind die von Hughes ausführlich dargestellte "battle of the currents" zwischen Gleichstrom- und Wechsel- bzw. Drehstromtechnik, die langsame Verdrängung des Analogrechners durch den Digitalrechner sowie der "swing to the bigger system" beim VHS-System gegenüber dem VCR- und dem Beta-System.

ABLAUFMUSTER BEI SYSTEMSTREITEN UND TECHNIKKONTROVERSEN
--

- | |
|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1 Ausscheidungskampf: Sieg einer Richtung
über die andere(n) 1a schnelle Verdrängung / Substitution 1b langsamer Ablösungsprozeß
 2 Dominanz einer Richtung, Nischenposition
der unterlegenen
 3 Dauerkonkurrenz (ähnliche Nutzungspotentiale,
wechselseitige Imitation von Funktionalitäten)
 4 Koexistenz (abweichende Nutzungspotentiale)
 5 Hybridlösung bzw. Kompromiß
 6 Integration in einem neuen Lösungsansatz
 7 Wiederbelebung einer unterlegenen Richtung
infolge technischer Neuerungen |
|--|

Der zweite Typ von Systemstreiten, bei dem die überlegene Richtung die Konkurrenz nicht völlig verdrängen kann, sondern dieser aufgrund spezifischer Nutzungspotentiale ein *spezieller Anwendungsbereich* verbleibt, scheint ein besonders verbreitetes Ablaufmuster zu sein. Hier ist die Kontroverse im Falle der Fernwärme ein gutes Beispiel: Das Warmwasser-Prinzip setzte sich in der Fernheizung nach und nach durch, Heißdampf blieb aber in der industriellen Kraft-Wärme-Kopplung vorherrschend, da hier meist höhere Arbeitstemperaturen benötigt werden. Beim Telefon wurde die Kabeltechnik in Ballungsgebieten nach der Jahrhundertwende schnell bestimmend, während die Freileitungstechnik auf dem Lande weiterlebte. Die analoge Nachrichtenübermittlung hat sich, obwohl schon oft totgesagt, noch immer eine Reihe von Nischen bewahrt, so aufgrund

des geringeren Bandbreitenbedarfes beim Richtfunk, beim Radio und beim Fernsehen, sowie neuerdings in der Breitbandübertragung auf Lichtwellenleitern. Auch die Hohlleitertechnik, die ursprünglich als das Breitbandübertragungsmedium der Zukunft angesehen wurde, mußte zwar bei den Massenanwendungen schnell der Glasfaser weichen, behauptete sich aber bis heute in Spezialanwendungen.

Neben der völligen oder weitgehenden Verdrängung gibt es aber als dritten Typ des Systemstreites die *Dauerkonkurrenz*. Hierbei sorgt ein relativ ähnliches Leistungs- und Anwendungsspektrum dafür, daß sich beide Lösungsmuster auf Dauer behaupten können. Vorteile der einen Lösung werden dabei nicht selten durch Mimikry oder Weiterentwicklung der anderen hinzugefügt, so daß das Kräftegleichgewicht stabil bleibt. Ein interessantes Beispiel hierfür ist der Dauerstreit zwischen Aktions- und Reaktionsturbine. Bei der mit Überdruck arbeitenden Reaktionsturbine von Parsons und der mit Gleichdruck operierenden Aktionsturbine von de Laval, Zoelly und Rateau waren und sind Vor- und Nachteile (Größe und Kosten der Turbinenschaufeln, Betriebsverhalten) so gleichmäßig verteilt und die Anwendungsbereiche so stark überlappt, daß sie sich bis heute als nahezu gleichstarke Kontrahenten gegenüberstehen.⁶⁰

Es liegt hier bereits ein Übergang zum vierten Ablaufmuster von Systemstreiten vor, der *Koexistenz* der einst feindlichen Entwicklungsrichtungen. Zu ihr kommt es, wenn die jeweiligen Nutzungspotentiale relativ stark differieren, so daß beide Lösungsprinzipien zumindest über einen längeren Zeitraum nebeneinander bestehen können. Der zeitweise heftige Konflikt zwischen der Amplitudenmodulation (AM bzw. EM) und der Frequenzmodulation (FM) in der Radiotechnik ist hierfür ein besonders prägnantes Beispiel. Während die streitenden Parteien, die Bell Laboratories mit John Carson auf der einen und der unabhängige Erfinder Edward Howard Armstrong auf der anderen Seite, das gegnerische Modulationsverfahren anfangs niederzukonkurrieren hofften, mußten sie bald feststellen, daß beide Richtungen unterschiedliche Einsatzbereiche abdeckten: die AM/EM als Sparstrategie den Mittelwellenbereich, während die FM für Sendebereiche mit höheren Qualitätsansprüchen besser geeignet war, also für den UKW-Bereich.⁶¹ Weitere Beispiele sind das Nebeneinander von digitalen Nebenstellenanlagen (PABXs) und lokalen Netzen (LANs), von Basisband- und Breitbandprinzip innerhalb der Lokalen Netze sowie von Leitungsvermittlung und Paketvermittlung in der Weitverkehrsübertragungstechnik (WANs). Es gelang den Entwicklern Lokaler Netze im Systemstreit mit den PABXs nicht, diese auch bei den Sprachdiensten zu verdrängen. Andererseits waren die Nebenstellenanlagen bei der Datenübermittlung zu langsam, so daß auf diesem Gebiet die LANs siegten. Auf dem WAN-Sektor schaffte es das Paket-

vermittlungsprinzip ebenfalls nicht, die synchrone durchgeschaltete Sprachübertragung (circuit switching) in ein diensteintegrierendes asynchrones Paketnetz (packet switching) zu übernehmen, die Übertragungsgüte von "packet voice" blieb unzureichend.⁶² Beide Konflikte endeten mit einem Patt und schließlich mit einer wechselseitigen Anerkennung der jeweiligen Einsatzfelder.

Im Falle der LAN- und PABX-Technik sowie des circuit und packet switching kam es schließlich sogar zu *Kompromiß- bzw. Hybridlösungen*, dem fünften Typ von Systemstreit-Ablaufmustern. Die Nebenstellenanlage wurde mit dem Lokalen Netz zu einem Funktionsverbund verknüpft, während der Systemstreit zwischen und verbindungsloser Paketvermittlung in der öffentlichen Datenübertragung mit der Kompromißlösung des "Virtuellen Schaltkreises" von Alexander G. Fraser abgeschlossen wurde.⁶³ Die letzte Stufe dieser Kette der Ablaufmuster von Systemstreiten bildet die *Integration* der ursprünglich getrennten Entwicklungsrichtungen zu einem neuen Lösungsansatz. Hierbei sind wiederum die neuesten Entwicklungen auf dem Gebiet der Sprach- und Datenintegration in High Speed-LANs und den Computer und Telefonanlage verschmelzenden Computer Supported Telephone Applications (CSTA) zu nennen, wo es nun auch zu einer Kooperation der früheren Gegner gekommen ist. Schließlich kann, wie bei der *Wiederbelebung* der Gleichstromtechnik in der Hochspannungs- Gleichstromübertragung bzw. in regenerativen Energieversorgungssystemen sowie der Analogtechnik in meß- steuer- und regelungstechnischen Systemen zu beobachten, eine einst besiegte oder an den Rand gedrängte Entwicklungsrichtung neue Bedeutung erlangen. Systemstreite sind demnach nicht immer einmalige Pfadentscheidungen, sondern oft mehrstufige Entscheidungsprozesse. So kann es in einer Technik eine ganze Kaskade größerer und kleinerer Richtungstreite geben, beispielsweise bei den Datenbanksystemen, wo es nach der Ablösung der indexsequentiellen durch die hierarchischen bzw. vernetzten Systeme und der folgenden heftigen Kontroverse zwischen diesen und den relationalen Datenbanksystemen derzeit zum dritten Systemstreit zwischen der relationalen und der objektorientierten Philosophie kommt. Eine Technik kann auch mehrere Ablauftypen nacheinander durchlaufen. Wie der bereits erwähnte LAN-PABX-Systemstreit endete auch der Gegensatz zwischen hierarchischen und paritätisch-vermaschten Rechnernetzarchitekturen (IBM's Systems Networks Architecture c/a DECnet) über Hybridbildungen bei der Integrationslösung software-konfigurierbarer Netzarchitekturen.

Welche Lehren können nun aus dem Instrument der vergleichenden Systemstreitanalyse für die prospektive Technikbewertung gezogen werden? Die aus historischen bzw. zeitgeschichtlichen Beispielen gewonnene Systematik hat eine Vielfalt von Typen

und Ablaufmustern von Technikkon-troversen ergeben, die dem Planer, Entwickler oder Promotor einer Techniklinie deutlich vor Augen führt, daß der Alleinvertretungsanspruch eines Technologiepfades in den wenigsten Fällen gerechtfertigt ist. Denn der Sieg einer Entwicklungsrichtung über konkurrierende Lösungswege bildet die Ausnahme. Da die komparativen Nutzungsvorteile bzw. -nachteile selten klar und eindeutig auf die streitenden Entwicklungsrichtungen verteilt sind, sind Teilsiege, Mischlösungen oder andere Formen des Nebeneinanders sowie langwierige Ablösungsprozesse weitaus häufiger vertreten. Die Systemstreithistorie kann daher dazu beitragen, das bei Ingenieuren stark ausgeprägte Substitutionsdenken bzw. die Ex-und-Hopp-Mentalität in Frage zu stellen und ihren Blick von den spektakulären Ausscheidungskämpfen und Alleinvertretungsansprüchen auf eine differenziertere Sicht der komparativen Nutzungspotentiale und auf das gesamte Lösungsspektrum zu lenken.

Die Vielfalt der Ablaufmuster stellt andererseits ein entscheidendes Hindernis für Prognosen über den Ausgang laufender Systemstreite dar. Die Systematik bietet dem Technikgeneseforscher kaum direkte Anhaltspunkte dafür, wie beispielsweise der aktuelle Systemstreit zwischen der synchronen und asynchronen Breitbandübertragungs-Netzarchitektur ablaufen wird. Nachdem ursprünglich von den europäischen Netzbetreibern das traditionellere Konzept des Synchronous Transfer Mode (STM) mit leitungsvermittelter Zuordnung von Bandbreiten in festen Bitratenstufen favorisiert wurde, setzte sich ab 1988 der flexiblere und sparsamere Ansatz der Bitraten-flexiblen Signalverschachtelung im Asynchronous Transfer Mode (ATM) als die überlegene Lösung durch.⁶⁴ Das vermittlungstechnisch aufwendigere ATM-Verfahren könnte aber als Folge einer durch die Wellenlängen-Multiplextechnik drastisch gesteigerten Bandbreite von Lichtwellenleitern demnächst wieder von einer synchronen Architektur abgelöst werden. Eine Entscheidung in diesem Systemstreit wäre also nur möglich auf der Basis der exakten Prognose des jeweils erreichbaren Leistungsspektrums, des Zeitpunktes der Verfügbarkeit der entsprechenden Gatter und Filter, des nutzerseitigen Bandbreitenbedarfes und der aufgrund von Lernkurven erzielbaren Wirtschaftlichkeitsvorteile. Gerade dies kann der Technikgeneseforscher aber am allerwenigsten.

Die großen Prognoseprobleme in bezug auf die konkreten komparativen Nutzungsvorteile sind auch die Ursache dafür, daß das Instrument der vergleichenden Systemstreithistorie nur sehr bedingt zur Ermittlung verschütteter Alternativen taugt. Zwar legt der Nachweis, daß die Selektion zwischen kontroversen Lösungsprinzipien in bestimmten Fällen nicht auf technisch-ökonomische Überlegenheit, sondern allein auf Marktmacht bzw. Monopolstellung beruht, die Vermutung von vertanen Chancen nahe. Im

Falle der Kraft-Wärme-Kopplung mit ihrem deutlich höheren energetischen Gesamtwirkungsgrad und ihrer bedeutend besseren Umweltverträglichkeit fällt dieser Nachweis auch relativ leicht. Auch bei der Schwebebahn dokumentiert noch ein übriggebliebenes Exemplar die Funktionstüchtigkeit der durch wirtschaftliche Macht zurückgedrängten Linie. Doch in der Regel gerät der historische Geneseforscher schnell in Beweisnot, wenn er die Machbarkeit, Wirtschaftlichkeit, Höherwertigkeit und die weitere Entwicklungsfähigkeit von abgebrochenen Entwicklungspfaden exakt belegen muß. Die historische Rekonstruktion kann den Mangel an Forschungsmitteln nicht wettmachen, die den Alternativen verweigert wurden. Gleichwohl behält der bloße Hinweis auf derartige Abbrüche seinen didaktischen Wert gegenüber einer Zunft, die chronisch dazu neigt, frühere Optionen und Alternativen nach dem Ende der Kontroversen wieder zu verdrängen.

So scheint, einem ersten vergleichenden Überblick nach zu urteilen, der Wert der Systemstreithistorie für eine vorausschauende und konkrete Alternativen anstoßende Technikbewertung nur begrenzt zu sein. Die Hauptbedeutung liegt eher auf ingenieurdidaktischem Gebiet, nämlich der argumentativen Öffnung von verengten Problemlösungshorizonten. Doch erst genauere Untersuchungen können das Erklärungs- und Prognosepotential genauer bestimmen. Erst dann wird sich erweisen, ob Michel Callons These zutreffend ist, die Analyse von wissenschaftlichen und technologischen Kontroversen als "privilegierten Orten der Entstehung von Technik" könne ein geeigneter Weg sein, um von den hochaggregierten Erklärungsansätzen der sozialwissenschaftlichen Technikforschung wegzukommen.⁶⁵

3.4 EIN DYNAMISCHER PROBLEMSTRUKTURPLAN ALS TECHNIKHISTORISCHES UND TECHNIKGNETISCHES ANALYSE-MODELL FÜR TECHNOLOGIE-LEBENSZYKLEN

Der im folgenden nur skizzierte Dynamische Strukturplan kombiniert die systemische Analyse von Problemstrukturen einer Technik mit der dynamischen Perspektive ihrer Langzeitentwicklung. Er erweitert die verschiedenen Ansätze der qualitativen Analyse von Technologielebenszyklen durch die Methoden und Ergebnisse des historischen Strukturvergleiches. Der komparatistische Ansatz hat dabei die Aufgabe, über die nur für eine Technik geltenden Problemstrukturen hinaus überindividuelle Strukturmerkmale und Ablaufmuster herauszuarbeiten, die erst eine vorausschauende Bewertung anderer Techniken ermöglichen. Mit diesem Analyseinstrument werden im Zeitraffer die in der

Entstehungs-, Einführungs-, Ausbreitungs- und Reifephase einer Technik auftretenden charakteristischen Pfadentscheidungen, Problem-, Engpaß- und Risikosituationen erfaßt, wobei es besonders auf die prinzipiellen Gestaltungsoptionen und die wechselseitigen Abhängigkeiten bzw. Zielkonflikte bei den Gestaltungskriterien ankommt. Der Problemstrukturplan wird ergänzt durch eine Typologie immer wieder zu beobachtender Fehlerkonstellationen. Mit Hilfe einer vergleichenden "Floppanalyse" sollen hier typische Fehlorientierungen und Vorfixierungen des Problemlösungsverhaltens identifiziert und historisch konstatierbare, immer wiederkehrende System- bzw. Artefaktmängel, die meist erst lange nach der Markteinführung auftreten, so systematisiert werden, daß sie als Merkposten für Designentscheidungen der Genese-phase aufgelistet werden können. Hiermit wird nicht der Anspruch vertreten, bereits ein in Technikplanungs- und Konstruktionsprozessen unmittelbar anwendbares Bewertungsinstrument vorzulegen. Vielmehr handelt es sich bei dem zwischen Ingenieurdidaktik, allgemeiner Technologie und Konstruktionslehre angesiedelten Modellansatz erst um einen analytischen Zwischenschritt, mit dem geprüft werden soll, welche Erkenntnisse der vergleichenden historischen Struktur- und Prozeßanalyse sich überhaupt prospektiv wenden lassen.

Für historische wie für aktuelle Untersuchungen empfiehlt es sich, den Problemstrukturplan nach den vorherrschenden Interessen und Perspektiven in vier analytische Abschnitte zu gliedern:

Der *erste Abschnitt* betrachtet die Artefakt- bzw. Systemgestaltung aus der traditionellen Sicht der Entwickler und der Hersteller. Er konzentriert sich auf die Produktgenerierung bis zur Fertigung, d. h. vor allem auf die Wirkprinzipien und zentralen Designentscheidungen, die die technische Funktionalität sicherstellen und betriebswirtschaftlichen Kriterien im engeren Sinne entsprechen.

Der *zweite Abschnitt* behandelt die Artefakt- und Systemgestaltung bzw. -anpassung im Hinblick auf den Herstellungsbereich. Hier kommen zur reinen Funktionalität Aspekte wie die Fertigungsgerechtigkeit, die Arbeitsplatzbelastungen und -emissionen hinzu.

Der *dritte Abschnitt* stellt die wichtigsten Designentscheidungen aus der Gebrauchsperspektive in den Mittelpunkt. Hier geht es um die Probleme der betrieblichen und privaten Nutzer mit der neuen Technik, die Gebrauchswertmängel und Kinderkrankheiten, die oft unzureichenden Ergonomie- und Bedienkonzepte, die Umstellungsprobleme und die fehlende Anpaßbarkeit an individuelle Anforderungen sowie in späteren Phasen die Wartungs- und Reparaturfreundlichkeit oder die Produktlebensdauer.

Der *vierte Abschnitt* schließlich erfaßt die über den Konstruktions-, Herstellungs- und Nutzungsbereich hinausgehenden, allgemein gesellschaftlichen und ökologischen Aspekte des Technologielebenszyklus, also Ressourcenverbrauch, Emissionen in die Umwelt, Beeinträchtigungen der Allgemeinheit sowie Probleme der Endphase von Techniken.⁶⁶

Die Konstruktionsentscheidungen der vier Abschnitte und die spezifischen Wechselwirkungen oder Zielkonflikte zwischen ihnen werden dann jeweils über den ganzen Lebenszyklus einer Technik hinweg verfolgt. Dabei zeigt sich meist sehr schnell, daß der Fertigungsbereich, die Gebrauchssphäre und erst recht das soziale und ökologische Umfeld oft erst viel später in das Bewußtsein der Entwicklungsabteilungen treten. Die vier Abschnitte bilden nämlich zugleich die Stufen der Externalisierung ab. Oft sind es erst massiv auftretende Probleme, Engpässe und Schäden bei der massenhaften Verbreitung einer Technik, die den Anlaß zu konstruktiven Verbesserungen geben. Der dynamische Problemstrukturplan ist also horizontal nach der vorherrschenden Perspektive und Interessenorientierung gegliedert und vertikal nach den Stadien des Technologielebenszyklus. Im folgenden werden lediglich zentrale Designentscheidungen des ersten Abschnittes in der Genese phase skizziert und einige dabei immer wiederkehrende Fehlerkonstellationen aufgeführt. Im Anschluß daran werden typische Engpaß- und Problemsituationen einer Technik in der Diffusionsphase aus der Sicht der Anwender und der Allgemeinheit vorgestellt.

3.4.1 STRATEGISCHE DESIGNENTSCHEIDUNGEN IN DER GENESEPHASE AUS DER ENTWICKLER- UND HERSTELLERPERSPEKTIVE

Am Beginn der Untersuchung der Genese phase einer Technik im Rahmen des ersten Abschnittes stehen Feststellungen über Auslösungsursachen, Urheber und primäre Akteurskonstellationen sowie über die von ihnen u.U. vorgebrachten Zielvorstellungen, die erste Annahmen über mögliche spezifische Prägungen erlauben. Die Darstellung des eigentlichen *Problemlösungsansatzes*, der entscheidenden Wirkstruktur, soll die Unterschiede zu konkurrierenden Lösungsmustern herausarbeiten, d.h. anvisierte komparative Nutzungsvorteile, technische Leistungsverbesserungen und wirtschaftliche Vorzüge. Über die bekannte Stärken-Schwächen-Analyse hinaus kann dabei bereits historisches Analysewissen einfließen: so Hinweise auf typische Fehlerkonstellationen wie die Fixierung der Entwickler auf anthropomorphe Denkweisen, auf etablierte Lösungsmuster bzw. auf die gesuchte Lösung, so daß, wie es zahlreiche Beispiele belegen, weitergehende Anwendungen gar nicht erkannt werden. Auf die Betrachtung des Problemlösungsansatzes folgt die der *Dimensionierung der entscheidenden Wirkparameter* wie etwa Druck, Drehzahl oder Frequenz, die wesentlich die Leistung bzw. den Stoff-, Energie- und Signaldurchsatz bemessen.⁶⁷ Diese sind zwar stark situationsabhängig und technikspezifisch. Doch auch hier gibt es historisch belegbare typische Handlungsoptionen und Fehlerkonstellationen. So wird die prinzipielle Wahlmöglichkeit zwischen Strategien der

beherrschten Leistungen bzw. Größen und Grenzleistungsstrategien sowie kompromißhaften "Optimallösungen" sehr oft einseitig zugunsten von Grenzleistungen entschieden. Weitere typische Fehler sind hier die Orientierung an augenblicklichen Kostenrelationen oder Anforderungen, eine zu enge Dimensionierung von nicht erweiterbaren Parametern (z. B. die 640 Kbyte-Grenze in DOS-Rechnern) und ein nicht ausgewogenes Zusammenspiel einzelner Parameter. Im Verlauf der weiteren Optimierung von Wirkparametern in der Diffusions- und Reifephase einer Technik führt die Fixierung auf jeweils höchste Leistungen nicht selten zu Überpendelungen, wie z. B. bei den überkritischen Dampfdruck- und Temperaturzuständen in der Kraftwerkstechnik.

Den nächsten Schritt bildet die Analyse der *Festlegung des Funktionalitätsumfangs*. Hier reicht die Skala von robusten "Strong-and-Simple-Ansätzen" bis zu hochkomplexen Multifunktionslösungen und von Spezial- zu Universallösungen. Der Geneseforscher kann hier mit einer Fülle von Beispielen von Downgrading-Prozessen dem vermeintlichen Entwicklungsgang von einfachen zu komplexen Lösungen entgegentreten: Der Fernschreiber gegenüber dem Schnelltelegraphen, die Speicherprogrammierbaren Steuerungen gegenüber dem zentralen Prozeßrechner und die robusten gegenüber den adaptiven Regelungen sowie das "Ethernet"-LAN gegenüber den Time-Sharing-Systemen waren besonders erfolgreiche Vereinfachungsstrategien. Typische Fehlerkonstellationen sind hierbei der "Einstieg mit zu komplexen Lösungen" oder "Alles-auf-einen Streich-Lösungen", die im Gegensatz zu Stufenlösungen meist schon im Ansatz an der Vielgestaltigkeit des soziotechnischen Umfeldes und den Anforderungen an die Systemkomplexität und -flexibilität scheiterten: so die alles umfassende Prozeßführung von Wärmekraftwerken durch einen zentralen Prozeßrechner, die Leitung eines Unternehmens mittels eines "totalen Management-Informationssystems" sowie die frühen Konzepte für automatisches Konstruieren mit integrierten CAD-Systemen, für die computerintegrierte Fertigung (CIM) oder für das papierlose, automatisierte Büro. Viele Probleme bei der Mensch-Maschine- bzw. -Prozeßkommunikation entstehen gerade auch durch die Festlegung eines zu großen Funktionalitätsumfangs, wie es elektronische Geräte und Anwenderssoftwarepakete besonders deutlich zeigen. Gegenüber diesen Überpendelungen bietet sich neben erfahrungsorientierten "Kiss-Strategien" (Keep it simple, stupid) vor allem das Gestaltungsprinzip der freien Konfigurierbarkeit an, um dadurch eine individuelle Anpassung zu ermöglichen. Doch konfligiert dieser Ansatz in vernetzten Systemen schnell mit den Kompatibilitäts-Erfordernissen.

Eine für viele Techniken besonders folgenreiche Pfadentscheidung ist die anvisierte *Skalierung*. Hier gibt es die prinzipiellen Wahlmöglichkeiten der Größensteigerung einzel-

ner bzw. weniger Systemeinheiten, dem "upsizing", oder der Mengensteigerung kleinerer Systemeinheiten, der Systemvervielfachung bzw. dem nachträglichen "downsizing". Der grundlegende Zielkonflikt zwischen Größen- und Mengenwachstum technischer Aggregate, in dem skalenökonomische Kalküle, Ressourcenverbrauch sowie Auslastungs-, Sicherheits- und Verfügbarkeitsprobleme gegeneinander abgewogen werden müssen, führt zu einer Reihe von Mischformen wie Größenklassen, Bau- bzw. Typenreihen und Systemfamilien, die eine bessere Skalierbarkeit und damit Anpaßbarkeit garantieren. Denn große Systeme neigen, wie es Kraftwerke und Rechenzentren besonders deutlich zeigen, fast immer zu geringerer Einsatzflexibilität. Die höheren Investitionskosten und die anfängliche Unterauslastung erzwingen die gezielte Schaffung von Nachfrage und forcieren so die Spirale von relativen Einsparungen durch Skaleneffekte und von absoluten Verbrauchszuwächsen. Auch hier gibt es kein *technisches* Evolutionsgesetz zu immer größeren Einheiten, wie es Hughes aus dem Übergang von den kleinen Gleichstromkraftwerken zu den großen Drehstromzentralen verallgemeinert hat. Erfolgreiche Downsizing-Prozesse in der Gegenwart wie die von Großrechnern zu PC-basierten Client-Server-Architekturen, von "Large-scale Time-sharing-systems" zu Lokalen Netzen und von Großstahl- zu Ministahlwerken belegen dies. Die permanente Fixierung vor allem der Großunternehmen auf maximale Anlagen- bzw. Aggregatgrößen, die über-eilte Aufwärtstransformation ohne ausreichenden Erfahrungsrückfluß⁶⁸ sowie das "Leviathan-Syndrom" (Einstieg mit überdimensionierten Einheiten wie bei dem berühmten Großdampfschiff) erweisen sich daher als charakteristische Verengungen des Problemlösungshorizontes von Entwicklern. Nicht selten wird der Vorrang der Upsizing-Strategie durch vermeintliche Wachstumsgesetze wie dem Grosch'Law bei Rechnergrößen und dem Verdopplungsgesetz bei Turbinen und Generatoren noch verfestigt.

Die skalenökonomische Strategie der Kostendegression durch Losgrößensteigerung ging und geht unter Fertigungsaspekten einher mit einer *Vereinheitlichung* der Artefakte bzw. der in ihnen verwendeten Teilkomponenten. Durch die kostenorientierte Tendenz zur *Standardisierung* gerät der Entwickler jedoch in Widerspruch zu individuellen Produktanforderungen. Außerdem nimmt die Änderungsflexibilität und damit die Möglichkeit der schnellen Weitergabe technischer Verbesserungen deutlich ab. Der grundlegende Zielkonflikt zwischen Lösungsoriginalität bzw. Produktindividualität und skalenökonomischer Standardisierung wurde in vielen Techniken mit Hilfe einer Strategie der Individualisierung des Produktes auf der Grundlage standardisierter, unterschiedlich kombinierbarer Grundelemente gelöst.⁶⁹ Voraussetzung hierfür waren *Strukturierungs-, Modularisierungs- oder Elementarisierungsmethoden*. Baukastensysteme aus mechanischen, elektrischen oder elektronischen Bauelementen, Textbausteine in der Textverar-

beitung und Teilebibliotheken in CAD/CAM-Systemen belegen diese Tendenz in diversen Hard- und Softwaretechniken. Die historische Betrachtung ergibt eine starke Technologie-, Produkt- und Situationsabhängigkeit der Lösungen dieses Zielkonfliktes zwischen Individualisierung und Standardisierung. Eine eindeutige historische Entwicklungsrichtung besteht auch hier nicht: Das Modell T von Ford erwies sich als eine schnell überwundene Überpendelung des Prinzips der Vereinheitlichung wie übrigens auch die übersteigerten "Losgröße-1-Ansätze" bei flexiblen Fertigungssystemen in der Gegenwart, denn das "Ende der Massenproduktion" war eine etwas zu voreilige Verkündung⁷⁰.

Durch die *Verkettung* gleicher und *Verkoppelung* heterogener Systemeinheiten werden komplexere technische Systeme gebildet. Der Effizienzanstieg infolge mechanischer, energetischer oder informationeller Prozeßverkoppelung bzw. -integration wird meist mit verringerter Flexibilität, geringerer Überschaubarkeit und verminderter Fehlerfreundlichkeit erkaufte. Neben der Skalierung sind vor allem Verkettung und Verkoppelung, wie Perrow es anhand vergleichender Risikostudien dargestellt hat, sehr folgenreich für die spätere Störanfälligkeit.⁷¹ Daher sollte der Geneseforscher auch hier dem Eindruck einer Entwicklungstendenz von *nicht* über *lose* zu *eng* gekoppelten Prozessen oder Systemen entgegentreten. Das gilt für den Übergang von Einzelsystemen zur *Vernetzung* gleichermaßen. Hier gibt es für Technikplaner prinzipielle Wahlmöglichkeiten zwischen "Stand-alone"- bzw. Inselsystemen, zwischen lokaler, regionaler oder nationaler Vernetzung. Diese Pfadalternativen werden jedoch durch von vielen Ingenieuren verinnerlichte soziotechnische Problemlösungsmuster eingeschränkt, wie etwa die Bevorzugung von geschlossenen gegenüber offenen Systemstrukturen oder der Vorrang von Großnetzen gegenüber Lokal- und Regionalnetzen sowie die lange Zeit dominante Favorisierung von Top-down Verteilungsnetz-Konzeptionen mit Großaggregaten gegenüber von unten aufgebauten Clearingsystemen. Das Hughessche Evolutionsstufenmodell, das die faktische Entwicklung in der Elektrizitätsversorgung verabsolutiert, übergeht die energetisch viel vorteilhafteren Formen *lokaler* Prozeßintegration auf der Basis der Kraft-Wärme-Kopplung. Eine vorurteilsfreie historische Geneseforschung muß hier also vom normativen Entwicklungsstufen-Denken wegkommen und gerade anhand der historischen Vielfalt das Spektrum der Wahlalternativen vor Augen führen.

Verkettung, Verkopplung und Vernetzung von Aggregaten, Systemteilen und Prozeßabläufen setzen auf der Seite der Produkte und Komponenten eine zunehmende Konformität oder *Kompatibilität* voraus. Dadurch wird der beschriebene Zielkonflikt zwischen individueller Nutzungsvielfalt und ökonomischen Losgrößenkalkülen weiter ver-

schärft. Da unter Konkurrenzbedingungen in der Regel jedes Wirtschaftssubjekt die eigenen Standards durchsetzen möchte, bedarf es in vernetzten oder kooperativen Systemen der Vereinbarung von Standards, d.h. der *Normung*.⁷² Eine in der Vergangenheit und Gegenwart sehr häufig auftretende Fehlerkonstellation ist hier der "Turmbau-zu-Babel-Effekt", d.h. die aufgrund abweichender Lösungsansätze und Produktstrategien auftretende, wildwüchsige Inkompatibilität. Die zahlreichen Beispiele wie die unterschiedlichen Telegrafencodes und Telefonsysteme, das anfängliche Chaos bei den Radiofrequenzen, die nicht kommunikationsfähigen Paketdatennetze, LANs und SPS sowie die unbeherrschbare Vielfalt der Bedieneroberflächen von intelligenten Sensorsystemen und Meßgeräten können allen Technikentwicklern bzw. Herstellern eine Warnung sein. Für die Arbeit- und Technikforschung ist hier ein lohnendes Arbeitsfeld, denn die Leidtragenden von Turmbau-zu-Babel-Effekten sind vor allem die unmittelbaren Nutzer.

Komplexere verkoppelte oder vernetzte Aggregate und Systeme sind in der Regel nicht amorph, sondern besitzen eine spezifische Struktur, eine *technische bzw. soziotechnische Systemarchitektur*. Diese legt die Aufgabenstruktur und -verteilung bzw. die kommunikativen Beziehungen zwischen den Teilsystemen fest. Hier gibt es die bekannten Wahlalternativen zwischen zentralistischen oder dezentralen Architekturen sowie diverse Kompromiß- und Hybridlösungen von hierarchischen und verteilten Strukturen. Diese Systemarchitekturen spiegeln oft betriebliche oder gesellschaftliche Organisations- und Herrschaftsstrukturen wider. Die Geschichte von Energie-, Telekommunikations- und Informationssystemen weist hier als typische Fehlerkonstellation die anfängliche "Ein Zentralaggregat-Lösung" (Gas-, Elektrizitäts- und Telefonzentrale, Informations- und Dokumentationszentren) und die permanente Fixierung auf Zentrallösungen auf. So gibt es eine ganze Reihe von Beispielen gescheiterter bzw. nicht realisierbarer Systemlösungen mit nur einem riesigen Zentralaggregat als Energiequelle, Steuer-, Kontroll- oder Vermittlungsinstanz, z.B. die Beleuchtung einer Stadt durch einen einzigen Lichtturm, die Energieversorgung eines Landes oder Kontinents durch ein oder wenige Riesenkraftwerke, einen Supercomputer in einem zentralistischen Informationsnetz. Das Wissen über wiederholte Fehlkonzepte zusammen mit dem Nachweis erfolgreicher historischer und gegenwärtiger Dezentralisierungsstrategien kann bei der kritischen Bewertung von neugeplanten stärker zentralistischen Systemlösungen in der Energietechnik (wenige Fusionskraftwerke für ganz Europa) und in der Telekommunikation (Intelligente Netze und Value-Added Networks mit nur einem oder wenigen zentralen Netzknoten) u.U. wertvolle Dienste leisten.

Allein schon der hier dargestellte Ausschnitt des Dynamischen Problemstrukturplans, der die Technik bis zur Markteinführung überwiegend aus der Entwickler- und Herstellerperspektive betrachtet, macht die Komplexität der Entscheidungen und die mannigfachen Fehlermöglichkeiten deutlich. Es ist daher kaum zu erwarten daß der "system builder", wie Hughes es annimmt, alle diese oft mit schweren Zielkonflikten verbundenen "critical problems" mit einem Schlag löst. Historische Beobachtungen zeigen vielmehr, daß gerade zu Beginn einer neuen Technik gewaltige Abstimmungsprobleme zwischen technischer Funktionalität, Arbeitsabläufen und Nutzungsprozessen auftreten. Die Technikgeneseforschung sollte deshalb von der unvollständigen Systemlösung als dem Normalfall ausgehen und ihre Forschungsstrategie besonders auf die immer wiederkehrenden Problem- und Mängelsituationen lenken. Das gilt im besonderen für die Technikfolgen, die in den hier ausgeklammerten Abschnitten der Fertigung und des Gebrauches auftreten, u.z. vor allem bei der massenhaften Ausbreitung einer Technik. Anhand der dabei häufig vorkommenden System- bzw. Produktmängel, den Diffusionsengpässen und -risiken, soll zum Schluß noch einmal die Intention des Dynamischen Problemstrukturplans verdeutlicht werden, nämlich spätere Phasen des Technologielebenszyklus in der Designphase zu antizipieren.

3.4.2 SYSTEMMÄNGEL IN DER AUSBREITUNGSPHASE: DIFFUSIONSENGPÄSSE UND -RISIKEN AUS DER SICHT DER SYSTEMNUTZER

Die technikhistorische Forschung hat schon seit längerem anhand von empirischen Fallstudien herausgearbeitet, daß es aufgrund ungleichmäßiger Entwicklungen einzelner Systemkomponenten immer wieder zu Selbstbehinderungen von Techniken kommt. Doch wurden das "imbalance"-Konzept von Nathan Rosenberg und das "reverse salient"-Theorem von Hughes bisher fast nur zur Beschreibung und Erklärung vergangener Prozesse genutzt.⁷³ Dabei eignet sich eine Systematisierung und anschauliche Aufbereitung historischer Beispiele durchaus zur Sensibilisierung von Ingenieuren und Technikplanern für aktuelle oder künftig zu erwartende Engpaßsituationen. Die Beispiele zeigen nämlich zum Teil sehr eindringlich, wie unbedacht engineering communities in derartige Engpässe hineinschlittern. Aus der Sicht der Nutzer der Systeme bzw. Techniken ergeben sich aus den "imbalances" vielfach besonders problematische oder gar unhaltbare Arbeitssituationen.

Besonders aufschlußreich für ein derartiges Hineinstolpern in Engpässe und Ungleichgewichte infolge einer wildwüchsigen, ganz augenblicksbezogenen Gestaltung

und Auslegung eines technischen Systems scheinen die Probleme bei der Ausbreitung des Telefons zu sein.⁷⁴ Der Schwerpunkt der Erfinder- und Entwicklungstätigkeit lag in diesem Fall ganz klar auf der Apparatechnik: Die Umwandlung von Sprache in elektromagnetische Wellen und deren Rückverwandlung in Schallschwingungen beherrschte das Aufmerksamkeitsspektrum der Ingenieure und Patentabteilungen. Die Übertragungsleitungen wurden als ein lästiger, teurer Kostenfaktor angesehen, den man durch eine besonders einfache, für den Augenblick ausreichende Auslegung niedrig halten wollte. So übernahm man einfach das bei der Telegrafie seit Jahrzehnten praktizierte Prinzip der Einfachleitung mit Erdrückleitung, ohne zu testen, ob das Verfahren auch für den Telefonbetrieb geeignet war, zumal für dichteren Telefonverkehr in einem infolge Starkstromleitungen und Straßenbahnen immer größer werdenden elektrischen Störpotential.

Auch beim Drahtmaterial wählte man möglichst billige Lösungen. Die Folge war, daß das erste Eisendraht-Leitungsnetz schon nach einem Jahrzehnt ersetzt werden mußte. Kostengründe sprachen auch für die Luftleitung als Normallösung, obwohl absehbar war, daß daraus ein heilloses Gewirr von Leitungen und Masten entstehen mußte, wenn sich die neue Nachrichtentechnik so, wie erhofft, ausbreiten würde. Unter den Bedingungen der scharfen Konkurrenz privater Telefongesellschaften in

den USA war diese Fehlentwicklung besonders ausgeprägt. Die überlieferten Bilder lassen ahnen, wie gefährlich die Montagearbeitsplätze für die Telefonmonteure dadurch wurden, ganz zu schweigen von der Gefährdung der Bevölkerung bei Sturm und Schnee und von der massiven Verhäßlichung der innerstädtischen Bezirke. Speziell in New York nahm die Gefährdung durch das Telefondrahtgewirr und die hohen Freileitungen der Stromversorgung derartige Ausmaße an, daß die städtischen Behörden mit Verboten, Abhacken von Leitungsmasten usw. eingreifen mußten. Da die Übertragung über unterirdische Kabel- und Leitungsschächte unzureichend erforscht worden war, gelang der Übergang nicht problemlos. In Deutschland verlief der Prozeß infolge langsamerer Wachstumsraten zwar etwas behutsamer, aber die anfänglichen Netzinvestitionen wurden auch hier durch den notwendigen Umstellungsprozeß auf das unterirdische, zweiadrige Kupfer- bzw. Bronzedrahtübertragungssystem entwertet.⁷⁵

Der zweite, bei der Systementwicklung vernachlässigte Schwachpunkt war die Vermittlungstechnik. Einige erkannten diesen absehbaren Engpaß zwar schon recht früh, insgesamt wurde die technische Entwicklung auf diesem Gebiet aber sehr dilatorisch behandelt, vor allem von den Konstruktionsbüros großer Firmen wie Siemens. In den USA ließ man die Verbindungen anfangs durch sogenannte switchmen (halbwüchsige

Burschen) herstellen, die vor dem Schaltbrett standen und sich bei Anrufen die Nummern zuriefen, um dann mit einer Verbindungsschnur den Kontakt herzustellen. Bald wurden dafür Frauen eingestellt, weil sie billiger und gefügiger und zu den Telefonkunden freundlicher waren. Auch im Deutschen Reich ersetzte man die Beamten ab 1890 durch 18-30-jährige Frauen. Es waren also vor allem die Frauen, die unter den Folgen eines nicht bedachten bzw. verdrängten Diffusionsrisikos zu leiden hatten. Die Telefonistinnen mußten in Hauptgeschäftszeiten durchschnittlich 150 Verbindungen pro Stunde, d.h. alle 2 Minuten 5 Verbindungen herstellen. Jede Verbindung bestand aus 7-10 ergonomisch überhaupt nicht aufeinander abgestimmten Operationen. Zeitgenossen schilderten die sich daraus ergebenden Arbeitsbedingungen folgendermaßen: "Sie können sich denken, wie es der gespanntesten Aufmerksamkeit, großer Umsicht und Behendigkeit der diensttuenden Beamten bedarf, die Vermittlungsgeschäfte auch bei diesem ununterbrochenen Hin- und Widersprechen, ohne daß Störungen entstehen, wahrzunehmen." ⁷⁶

Der Übergang zum Vielfachschalter, bei dem jede Telefonistin alle Fernsprechanchlüsse in Reichweite hatte, entschärfte das Problem nur vorübergehend. Denn die rasche Zunahme der Fernsprechteilnehmer und die lange Zeit dominierende Zentralisierung führte bald zum alten Belastungsniveau. Die Folge war, daß die Telefonvermittlung Anlaß für eine der ersten ergonomischen Debatten wurde. Eine Fülle kleinster Verbesserungen konnte aber letztlich doch nicht verhindern, daß die Arbeitszeit für Telefonistinnen von den üblichen 52-54 Stunden pro Woche auf 48 (1899) und schließlich auf 42 (1905) herabgesetzt werden mußte. Eine Lösung brachte erst die Automation, freilich um den Preis, daß die Mohren bzw. Mohrinnen, die ihre Schuldigkeit getan hatten, nun entlassen wurden. Die Telefonausbereitung als Beispiel einer diffusionsriskanten Technik ist nicht zuletzt deshalb instruktiv, weil hier das kurzfristige Unternehmerkalkül und der reduzierte Problemlösungshorizont der Systementwickler schon nach kurzer Zeit zu einer Behinderung der Systemexpansion und zu erheblichen Neuinvestitionen geführt haben. Eine längerfristige, die Diffusion antizipierende Problemlösungsstrategie der Ingenieure hätte also auch den Systemeignern mehr genützt als die augenblicksbezogene Vorgehensweise.

Mit der Erforschung von *Diffusionsrisiken* wie sie am Beispiel der Telefonleitungen demonstriert wurden, könnte die historische Technikforschung m. E. künftig einen wichtigen Beitrag zur Risikoforschung leisten. Aufgrund ihrer Herkunft aus Kernenergie, Luft- und Raumfahrt sowie Großanlagenbau konzentriert sich diese noch immer auf Großprojekte und Hochrisikosysteme.⁷⁷ Das massive Problem der Risikoakzeptanz lenkte die

Aufmerksamkeit dabei vor allem auf eine kostenorientierte Abwägung von Gefahrenpotentialen und Eintrittswahrscheinlichkeiten. Darüber wurden aber die *absehbaren* Risiken, die infolge massenhafter Ausbreitung auftreten können, übersehen. Der aus historischen Beispielen gewonnene Begriff des Diffusionsrisikos soll einen analytischen Zugang zu derartigen berechenbaren Risiken ermöglichen. Bei Diffusionsrisiken handelt es sich also um wahrscheinliche Gesundheits- und Arbeitsplatzbelastungen oder Schadensfolgen für die Umwelt, die durch *Summierungs-, Kombinations- und Kumulationswirkungen* bei der massenhaften Ausbreitung von Techniken entstehen. Diffusionsrisiken treten immer dann auf, wenn zum Entstehungszeitpunkt einer Technik Dimensionierungen, Störpotentiale oder Emissionen gewählt bzw. zugelassen werden, die noch nicht der anvisierten Massenverbreitung entsprechen. Diffusionsrisiken beruhen also auf unvollständiger Systemgestaltung, die jedoch erst im Laufe der Diffusion zutage tritt. Für sie gibt es zahlreiche Beispiele bei Summierungen und Kumulationen von Schadstoffkonzentrationen in Industrie, Landwirtschaft, Energieversorgung und Verkehr, die bereits zum Zeitpunkt der Einführung der jeweiligen Technik absehbar waren, aber aus Kostengründen einfach verdrängt, oft aber auch bewußt externalisiert wurden. Neuere Beispiele sind die Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV), deren Nichtbeachtung immer wieder zu Unfällen oder Gefährdungen geführt hat, sowie der "Elektrosmog", der aufgrund von Kombinations- und Kumulationswirkungen neben Strahlenschäden auch schwere Sicherheitsrisiken nach sich ziehen kann, und schließlich der sich in bestimmten Umlaufbahnen häufende Satellitenmüll, der bereits jetzt die Raumfahrt beeinträchtigt. Historische Beispiele können in der Ausbildung oder in der Konstruktionslehre das Problem der Diffusionsrisiken besonders plastisch vor Augen führen und Ingenieure dadurch zu einer möglichst frühen Berücksichtigung von Langzeitfolgen motivieren.

Aber auch *Diffusionsengpässe* haben, das zeigt das Beispiel der Vermittlungszentrale, oft gravierende Nebenwirkungen und Beeinträchtigungen für die unmittelbaren Nutzer technischer Systeme. Ich begnüge mich deshalb nicht mit Hughes' Begriff des "reverse salient", der im wesentlichen "critical problems" bezeichnet, die der weiteren Expansion eines Systems im Wege stehen. Die Beobachtungen am Telefonbeispiel haben auch gezeigt, daß diese Engpaßprobleme nicht allein in späteren Expansionsphasen auftauchen, sondern daß gerade zu Beginn einer neuen Technik gewaltige Abstimmungsprobleme zwischen technischer Funktionalität, Arbeitsabläufen und Nutzungsprozessen auftreten. Das "reverse salient"-Konzept sollte daher von der Technikgeneseforschung in die folgenden analytischen Problemkreise ausdifferenziert werden:

- die *unvollständige Systemlösung* am Beginn einer Technik,
- den "*Schwarzen-Peter-Effekt*" zur Kennzeichnung der laufend entstehenden

Ungleichgewichte zwischen technischen Teilsystemen (imbalances),

- *Diffusionsengpässe*, d. h. reverse salients in einer umfassenderen, auch arbeits- und umweltorientierten Perspektive,
- *Diffusionsrisiken*, die durch Gefahrenmomente über bloße Engpässe hinaus gehen und
- *Systemkrisen*, die bei einer kritischen Häufung von Ungleichgewichten und Engpässen auftreten können.

Doch auch wenn das analytische Instrumentarium für die prospektive Technikbewertung deutlich erweitert wird, wenn mit dynamischen Problemstrukturplänen die Pfadentscheidungen und typischen Problem- und Engpaßsituationen der einzelnen Phasen des Technologielebenszyklus systematisiert werden, wenn Checklisten charakteristischer Fehlerkonstellationen und Verengungen des Problemlösungshorizontes von Technikplanern, Entwicklern und Konstrukteuren vorliegen, beseitigt das von der Technikgeneseforschung erarbeitete Wissen nicht das prinzipielle Antizipationsproblem des Technikgestalters. Es zwingt diesen allerdings zur Selbstreflexion, zur Aufdeckung von Vorverständnissen und Vorfixierungen sowie zum Lernen aus vergangenen Fehlern und evtl. zur Fehlerprophylaxe. Doch trotz aller Bemühungen verfügt der Technikgeneseforscher im Stadium der Entstehung einer neuen Technik, wenn weder deren Machbarkeit, Finanzierbarkeit noch deren reales Anwendungsspektrum voll überblickt werden können, nicht über das Wissen, das für eine *aktive* Technikgestaltung erforderlich wäre. Eine positive Steuerung von Technisierungsprozessen durch die Technikgeneseforschung im Zustand hoher Ungewißheit ist daher kaum möglich, auch sie vermag den Dilemmata der Technikfolgenforschung nicht zu entgehen und gesellschaftliche Interventionen nach dem Sichtbarwerden von unerwarteten Folgewirkungen nicht überflüssig zu machen. Sie kann aber die Früherkennung von Technikfolgen deutlich verbessern, den Entwurf von Szenarien konkretisieren und Lehren aus der Geschichte für die Technikbewertung systematisch aufbereiten.

ANMERKUNGEN

¹ Vgl. zum folgenden bes. M. Dierkes, Technikgenese als Gegenstand sozialwissenschaftlicher Forschung. Erste Überlegungen, in: Verbund sozialwissenschaftliche Technikforschung (Hg.), Mitteilungen 1/1987, S.154-170; ders., Technikgenese in organisatorischen Kontexten. Neue Entwicklungslinien in sozialwissenschaftlicher Technikforschung, Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung, FS II 89/104; W. Rammert, Technikgenese. Stand und Perspektiven der Sozialforschung im Entstehungszusammenhang neuer Techniken, in: Kölner Zs. für Soziologie und Sozialpsychologie, 40, 1988, S. 747-761; ders., Research on the generation and development of technology: The state of the art in Germany, in: M.Dierkes, U.Hoffmann, (Hg.), New Technology at the Outset. Social Forces in the Shaping of Technological Innovations, Frankfurt, New York 1992, pp 81- 86.

² Vgl. u.a. P.Mambrey, R. Oppermann, (Hg.), Beteiligung von Betroffenen bei der Entwicklung von Informationssystemen, Frankfurt, New York 1983; U.Briefs, C.Ciborra, L.Schneider (Eds.), Systems Design for, with, and by the users, Amsterdam, New York, Oxford 1983.

³ H.Kubicek, Informationstechnologie und Organisationsforschung-eine kritische Bestandsaufnahme der Forschungsergebnisse, in: H.R. Hansen, C.Th.Schröder, H.J.Weihe (Hg.), Mensch und Computer. Zur Kontroverse über die ökonomischen und gesellschaftlichen Auswirkungen der EDV, München, Wien 1979, S. 53-79; W.Langenheder, Perspektiven der Wirkungsforschung, in: Arbeitskreis Rationalisierung Bonn (Hg.), Verdatet, Verdrahtet, Verkauft. Beiträge zum Thema "Informatik und Gesellschaft", Stuttgart 1982, S. 169-188.

⁴ J. A. M. van Boxsel, Konstruktive Technikfolgenabschätzung in den Niederlanden, in: K. Kornwachs (Hg.), Reichweite und Potential der Technikfolgenabschätzung, Stuttgart 1991, S. 137-154; R.Williams, D.Edge, The social shaping of technology:Research concepts and findings in Great Britain, in: Dierkes, Hoffmann, New Technology at the Outset, S.31- 61; W.E. Bijker, T.P. Hughes, T.J. Pinch (Hg.), The Social Construction of Technological Systems, Cambridge, Mass., London 1987.

⁵ Vgl. bes. F.Naschold, Technologie-Kontrolle durch Technologiefolgenabschätzung?, Köln 1987, S.14 ff.

⁶ Vgl. bes. Th.Mantz, Technikgenese - Die sozialen Prozesse und Einflußgrößen der Entstehung moderner Produktionstechniken. eine Übersicht zum Stand der sozialwissenschaftlichen Forschung über Technikentwicklung, in: DGB (Hrsg.), Informationen zur Technologiepolitik und zur Humanisierung der Arbeit, Nr. 12, Januar 1991; P.Kalkowski, F.Manske, Technikgenese im Maschinenbau, Ms. 1992.

⁷ H. Kubicek, Von der Technikfolgenabschätzung zur Regulierungsforschung. Stand und Perspektiven sozialorientierter Telekommunikationsforschung, in: ders, (Hg.), Telekommunikation und Gesellschaft, Bd. 1, Karlsruhe, 1991, S. 13-77.

⁸ Vgl. Anm. 1.

⁹ Vgl. den Überblick von W. König, Retrospective Technology Assessment-Technikbewertung im Rückblick, in: Technikgeschichte 51, 1984, S. 247-262.

¹⁰ W.Rammert, Wer oder was steuert den technischen Fortschritt? Technischer Wandel zwischen Steuerung und Evolution, in: Soziale Welt 43, 1992, S. 7-25, bes. S.8.

¹¹ W.Rammert, From mechanical engineering to information engineering: Phenomenology and social roots of an emerging type of technology, in: Dierkes, Hoffmann, New Technology at the Outset, S. 193-205.

¹² W.Rammert, Telefon und Kommunikationskultur. Akzeptanz und Diffusion einer Technik im Vier-Länder-Vergleich, in: Kölner Zs. für Soziologie u. Sozialpsychologie, 42, 1990, S. 20-40, Zitat S. 31; ders., Der Anteil der Kultur an der Genese einer Technik: Das Beispiel Telefon, in: Forschungsgruppe Telefonkommunikation (Hg.), Telefon und Gesellschaft: Beiträge zu einer Soziologie der Telefonkommunikation, Berlin 1989, S. 87-95; W.Rammert, W.Böhm, C.Olscha, J.Wehrner, Vom Umgang mit Computern im Alltag. Fallstudien zur Kultivierung einer neuen Technik, Opladen 1991.

¹³ M.Dierkes, U.Hoffmann, L.Marz, Leitbild und Technik. Zur Entstehung und Steuerung technischer Innovationen, Berlin 1992, S.8 ff.

¹⁴ Rammert, Wer oder was steuert den technischen Fortschritt?, S.13.; ders., Technikgenese und der Einsatz von Expertensystemen aus sozialwissenschaftlicher Sicht, in: Künstliche Intelligenz, 4/ 1990, S. 26-30 (In jener frühen Phase der Genese einer Technik, in der "bewußt und unbewußt vorstrukturiert wird, was später in den Einsatzfeldern als nicht mehr veränderbare Eigenschaften von technischen Systemen erscheint.")

¹⁵ Vgl. bes. A.Knie, Diesel. Karriere einer Technik. Genese und Formierungsprozesse im Motorenbau, Berlin 1991; ders., Gemachte Technik, Zur Bedeutung von "Fahnenträgern", "Promotoren", und "Definitions-macht" in der Technikgenese, in: Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung, FS II 92/104.

¹⁶ Vgl. u.a. R.Mayntz, Politische Steuerung und Eigengesetzlichkeiten technischer Entwicklung - Zu den Wirkungen von Technikfolgenabschätzung, in: H.Albach, D. Schade, H.Sinn (Hg.), Technikfolgenforschung und Technikfolgenabschätzung, Berlin, Heidelberg, New York 1991, S. 45-61.

¹⁷ E. M. Deloraine, A. H. Reeves, 25 Jahre Pulsecodemodulation, in: Elektrisches Nachrichtenwesen Bd. 40, 1965, S. 434-447; F.-W. Hagemeyer, Die Entstehung von Informationskonzepten in der Nachrichtentechnik. Eine Fallstudie zur Theoriebildung in der Technik in Industrie- und Kriegsforschung, Phil.Diss.Berlin 1979, S.382-386; R.J.Chapuis, A.E.Joel, Jr., Electronics, Computers and Telephone Switching, Amsterdam, New York 1990, S.293-302.

¹⁸ Vgl. u.a. P.Seeger, Die ISDN-Strategie. Probleme einer Technikfolgenabschätzung, Berlin 1990.; D.Klumpp, C.Rose, ISDN - Karriere eines technischen Konzeptes, in: Jahrbuch Arbeit und Technik 1991, Bonn 1991, S.103-114; D. Klumpp, Technikfolgenabschätzung: Bedingungen und Perspektiven in der kommunikationstechnischen Industrie, in: M.Mai, Sozialwissenschaften und Technik (Europäische Hochschulschriften, Bd. 184), Frankfurt a.M. Bern u.a. 199 S.57 ff.

¹⁹ Chapuis, Joel,Jr., Electronics, S.239.

²⁰ Vgl. u.a. H.J. Shulte Jr.,; W.A.Cornell, Multi-Area Mobile Telephone System, in: IRE Transactions on Vehicular Communications, VC 9, May 1960, pp. 49-53; S.Millman (Hrsg.), Communications Sciences (1925-1980), in : A History of Engineering and Science in the Bell System, Bell Telephone Laboratories 1984, S.235 ff. Mit dem Jahr 1947 die Phase eines allgemeinen Leitbildes der mobilen Kommunikation beginnen zu lassen, ist daher ziemlich abwegig, vgl. Dierkes, Hoffmann, Marz, Leitbild und Technik, S.80 f.

²¹ W.v.Pattay, Die technologischen Ursachen für die wachsende Bedeutung internationaler Normung. Entwicklungs- und anwendungsfördernde Strukturen für Telekommunikationssysteme, Diss. Bremen 1993.

²² Rammert, From mechanical engineering to information engineering, S. 199 ff.

²³ K.Zuse, Computerentwicklung im Lichte moderner Kritik, in: Arbeitskreis Rationalisierung, Verdatet-Verdrahtet-Verkauft, S. 159-168, Zitat auf S. 162.

²⁴ Vgl. bes. A.Riedler, Wirklichkeitsblinde in Wissenschaft und Technik, Berlin 1919, S. 102 (Fehlschläge in der Technik seien in der Regel die Folge von "früheren, meist unbekannten Leitgedanken": Wer Fortschritt schaffen will, muß frei blicken, muß neue Leitgedanken aufbauen und ihnen folgen."); L.Erhard, Der Weg des Geistes in der Technik, Berlin 1929, S.10 ("der neue Leitgedanke der fließenden Fertigung").

²⁵ Vgl. A.Stöcklein, Leitbilder der Technik. Biblische Tradition und technischer Fortschritt, München 1969.

²⁶ Siehe u.a. K.Traube, O.Ullrich, Billiger Atomstrom, Reinbek 1982, S.12 ff.; H.D.Hellige, Die Größensteigerung von Elektrizitätsversorgungsunternehmen : eine kritische Bestandsaufnahme aus technikhistorischer Sicht, in : Lehren & Lernen-Berufsfeld Elektrotechnik, H.6, 1985, S.115,120f.

²⁷ Vgl. bes. R.R.Nelson, S.G.Winter, In search of a useful theory of innovation, in: Research Policy 6 (1977), S. 36-76, bes. S.56 ff.; G.Dosi, Technological paradigms and technological trajectories, in: Research Policy 11 (1982), S.147-162.

²⁸ A. Rolf, P.Berger u. a. Technikleitbilder und Büroarbeit zwischen Werkzeugperspektive und globaler Vernetzung, Opladen 1990, bes. S. 25 ff. ; A.Rolf, Angewandte Informatik-Grundlagen der Gestaltung von Arbeit und Umwelt, Mannheim 1994.

²⁹ P.Mambrey, A.Tepper, Metaphern und Leitbilder als Instrument, in: Arbeitspapiere der GMD 651, Gesellschaft für Mathematik und Datenverarbeitung, Sankt Augustin 1992.

³⁰ M.Dierkes, Technikgenese als Gegenstand sozialwissenschaftlicher Forschung, S.163; Dierkes, Hoffmann, Marz, Leitbild und Technik, bes. S. 41 ff.; vgl. auch die Zusammenstellung früherer Beiträge in: M.Dierkes, Die Technisierung und ihre Folgen. Zur Biographie eines Forschungsfeldes, Berlin 1993.

³¹ W.Müller, D.Cords, Ingenieure zwischen technischer Entwicklung und Arbeitsgestaltung. Gestaltungsperspektiven von CAD-Entwicklern und CAD-Einführern, in: J. Bergstermann, Th. Mantz (Hg.), Technik gestalten, Risiken beherrschen. Befunde der Sozialforschung zur Entwicklung moderner Produktionstechnik, Berlin 1992 S. 123-137.

³² Zum Begriff des technisch-wissenschaftlichen Problemlösungshorizontes vgl. H.D.Hellige, Die gesellschaftlichen und historischen Grundlagen der Technikgestaltung als Gegenstand der Ingenieurausbildung, in : Technikgeschichte 51, 1984,S.281ff.

³³ Dierkes, Hoffmann, Marz, Leitbild und Technik, S. 29 ff.

³⁴ M.Callon, J.Law, A.Rip, (Hg.), Mapping the Dynamics of Science and Technology: Sociology of Science in the Real World, London 1986, bes. S.19-34 (M.Callon, The Sociology of An Actor-Network: the Case of the ElectricVehicle).

³⁵ Siehe u.a. F. Kramer, Innovative Produktpolitik. Strategie, Planung, Entwicklung, Einführung, Berlin, Heidelberg, New York 1986.

³⁶ Projektgruppe Ökologische Wirtschaft / F.Rubik, R.Osnowski (Hg.), Produktlinienanalyse. Bedürfnisse, Produkte und ihre Folgen, Köln 1987; T.Baumgartner, F.Rubik, V.Teichert, Die gegenwärtige Produktpolitik und ihre Umgestaltung mit Hilfe der Produktlinienanalyse, Werkstattbericht Nr. 54 des Öko-Institutes, Freiburg, 1989.

³⁷ Vgl. bes. R.-D. Weege, Recyclinggerechtes Konstruieren, Düsseldorf 1981 und G.Pahl, W.Beitz, Konstruktionlehre, 2.Aufl. Berlin, Heidelberg, 1986, S.340-345; 3.Aufl.1993, S. 415-432

³⁸ D.Kleim,W.Wolfgarten, Programmierbare Steuerungen, 2. Auflage, Düsseldorf 1975, S.1-7.

³⁹ VDI Technologiezentrum (Hg.), Technologiemanagement, Symposiumsunterlagen, Berlin November 1981; K.P.Friebe, Arbeit und Ingenieure, in: Arbeit und Technik. Analyse von Entwicklungen der Technik und Chancen in der Gestaltung der Arbeit, Symposium Bremen September 1983, S. 554-563.

⁴⁰ Vgl. den umfangreichen Tagungsband von Tarek M. Khalil, Bulent A. Bayraktar, Johnson A. Edosomwan (Eds.), Technology Management 1, Proceedings of the first International Conference on Technology Management in Miami, Florida, 17-19.2.1988, Genf 1988, bes. S. Vii-XII, 188-197.

⁴¹ David J. Sumanth, A Total Systems Approach to Technological Management for Inter-Organizational Competitiveness, in: ebda., S. 799-808.

⁴² VDI (Hg.) Technikbewertung - Begriffe und Grundlagen. Erläuterungen und Hinweise zur VDI-Richtlinie 3780, Düsseldorf 1991; G.Ropohl, Konzeptionen der Technikbewertung, in: Technikfolgenabschätzung und Technikbewertung. Konzeption, Anwendungsfälle, Perspektiven (Report/Daimler-Benz AG, 10), Düsseldorf 1988, S.15-26.

⁴³ Siehe zu dieser Kontroverse vor allem K.A.Detzer, Von den Zehn Geboten zu Verhaltenskodizes für Manager und Ingenieure-Was sagen uns ethische Prinzipien, Leitsätze und Normen?, VDI-Report 11, 3.Aufl. Düsseldorf 1992; ders., Unsere Verantwortung für eine umweltverträgliche Technikgestaltung. Von abstrakten Leitsätzen zu konkreten Leitbildern, VDI-Report 19, Düsseldorf 1993 sowie die Beiträge von Detzer, Dierkes und Ropohl in: Technik-Dialog "Umweltschonung durch Ingenieurverantwortung", Dokumentation des Kolloquiums der VDI-Hauptgruppe, März 1993.

⁴⁴ Vgl. bes.Th.P.Hughes, Networks of Power. Electrification in Western Society 1880-1930, Baltimore 1983, ders., The Evolution of Large Technological Systems, in: W.E. Bijker, T.P. Hughes, T.J. Pinch (Eds.), The Social Construction of Technological Systems, Cambridge, Mass., London 1987, pp. 71 ff.; R.Mayntz, Th.P.Hughes, (Hg.),The Development of Large Technical Systems, Frankfurt.a.M., Boulder, Colorado 1988.

⁴⁵ Vgl.besonders T.P. und A.Hughes, Inventing Controls for Large Technological Systems, in: E.Mayer (Hg), Ordnung, Rationalisierung, Kontrolle. Wechselspiel technischer und gesellschaftlicher Aspekte bei der Entwicklung technischer Großsysteme, Darmstadt 1988, S.83-94.

⁴⁶ Vgl. auch H.D.Hellige, Walther Rathenau: ein Kritiker der Moderne als Organisator des Kapitalismus. Entgegnung auf T.P.Hughes' systemhistorische Rathenau-Interpretation, in: T. Budensieg, Th.P.Hughes, J.Kocka (Hg.), Ein Mann vieler Eigenschaften. Walther Rathenau und die Kultur der Moderne, Berlin 1990, S. 32-54, bes. S. 43 f.

⁴⁷ A.Kaijser, A.Mogren, P.Steen, Att ändra riktning. Villkor för ny energiteknik, Stockholm 1988.

⁴⁸ D.F.Noble, Forces of Production A Social History of Industrial Automation, New York 1984; Th.P.Hughes, Regional Technological Style, in: S. Strandh, Technology and Its Impact on Society, Stockholm 1977, pp. 211 ff.

⁴⁹ T.Winograd, F.Flores, Erkenntnis-Maschinen-Verstehen, Berlin 1989.

⁵⁰ Th.P und A.Hughes, Inventing Controls, S.85, 92 f.

⁵¹ Vgl. U.Wengenroth, Technologietransfer als multilateraler Austauschprozeß. Die Entstehung der modernen Stahlwerkskonzeption im späten 19.Jahrhundert, in: Technikgeschichte 50, 1983, S. 224-237; G.Bjerknes (Hg.), Computers and Democracy. A Scandinavian Challenge, Aldershot u.a. 1987; R.Hoyer (Hrsg.), EDB på norsk. Tilpassing av datateknologien til norsk arbeidsliv-kultur og systemutviklingspraxis, 3.Aufl. Oslo 1988.

⁵² W.König, Technikentwicklung und Gesellschaftspolitik. Die Krise von Handwerk und Klein-gewerbe und die Innovation von Kleinkraftmaschinen in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhun-derts, in: Bernd Rebe (Hg.), Nutzen und Wahrheit (Cloppenburg Wirtschaftsgespräche, Bd.6), Hildesheim 1991, S. 151 ff.; B.Joerges, Große Technische Systeme, in: Technik und Gesellschaft, Jahrbuch 6, Frankfurt, New York 1992, S. 41-72, bes. S.41f.

⁵³ Dierkes, Hoffmann, Marz, Leitbild und Technik, S.121 ff.

⁵⁴ Vgl. hierzu ausführlich: H.D.Hellige, Militärische Einflüsse auf Leitbilder, Lösungsmuster und Entwicklungsrichtungen der Computerkommunikation, in: Technikgeschichte, 59, 1992, S.371-401, bes.S. 379 ff., 385 ff.

⁵⁵ I.Kant, Der Streit der Fakultäten (1798), 2.Abschnitt, Teil 2.

⁵⁶ Zum Begriff "Entwicklungsblock" s. E. Dahmén, Svensk industriell företagarverksamhet, Stockholm 1950 und seine Wiederaufnahme bei Kaijser, Mogren, Steen, Att ändra riktning, a.a.O.

⁵⁷ Hughes, Networks of Power, Kapitel V "Conflict and Resolution" S.A.Kaijser, Stadens ljus.Etableringen av de första svenska gasverken, Malmö 1986, S.47 f. ; ders., From local net-works to national systems. A comparison of the emergence of electricity and telephony in Swe-den, in: F. Cardot (Ed.) Un siècle d'électricité dans le monde, Paris 1987, pp. 7-22; ders., Led-ningen och makten, in: Svante Beckmann (Hg.), Teknokrati, Arbete, Makt, Stockholm 1990, S.151-184, bes. S.165 ff..

⁵⁸ Vgl. S. Zielinski, Zur Geschichte des Videorecorders, Berlin 1986.

⁵⁹ Die heftige Kontroverse von 1903/04 zwischen dem Stadtbahn-Projekt von AEG und Sie-mens und dem Schwebebahn-Projekt von Schuckert für Hamburg ist gut dokumentiert in SAA 4/Lk 36 im Siemens-Archiv.

⁶⁰ Vgl. u.a. K.Schäff, Die Entwicklung zum heutigen Wärmekraftwerk, (Kraftwerkstechnik, Bd.1), Essen 1977, S.69-81; H.-U.Niemitz, Entwicklung der Konstruktionspraxis im Dampfturbinenbau bei der Brown, Boveri AG&Cie in Mannheim und Baden/Schweiz, Diss. Tu Berlin 1990, S.14 ff.

⁶¹ Vgl. u.a. S.Millman, A History of Engineering and Science in the Bell System : Communications Sciences (1925-1980) AT&T Bell Laboratories 1984, S. 5-9.

⁶²Vgl. u.a. R.D.Rosner, Circuit and packet switching: Computer Networks 1(1976), S. 7-26.

⁶³ Vgl. L.Pouzin, Virtual circuits vs. datagramms-Technical and political problems, in: Proceedings of National Computer Conference 1976, S.483-494 und H.D.Hellige, Actors, Visions and Developments in the History of Computer Communications, in: E. Kranakis (Hg.), Social History of Information Technology, in: History and Technology, 1993.

⁶⁴Vgl. u.a. U.Killat, Asynchrone Zeitvielfachübermittlung für Breitbandnetze, in: Nachrichtentechnische Zeitschrift 40, 1987, S.572 ff.

⁶⁵ M.Callon, Die Kreation einer Technik. Der Kampf um das Elektroauto, in: Technik und Gesellschaft, Jahrbuch 2, Frankfurt, New York 1983, S.140-160, Zitat S.157 f.

⁶⁶ Vgl. hierzu auch Anm.32 und die Systematik von Wirkungsdimensionen in: VDI-Handlungsempfehlung Sozialverträgliche Gestaltung von Automatisierungsvorhaben, Düsseldorf 1989, S. 23-30.

⁶⁷ Vgl. R.Koller, Konstruktionslehre für den Maschinenbau, 2. Aufl. Berlin, 1985, S. 127 f.

⁶⁸ Joerges, Große Technische Systeme, S. ; H.D.Hellige, Die Größensteigerung von Elektrizitätsversorgungsunternehmen, S.111-133.

⁶⁹ G.Ropohl, Flexible Fertigungssysteme. Zur Automatisierung der Serienfertigung, Mainz 1971, S. 200 ff.

⁷⁰ Vgl. M.J.Piore, C.F.Sabel, Das Ende der Massenproduktion Studie über die Requalifizierung der Arbeit und die Rückkehr der Ökonomie in die Gesellschaft, Berlin 1985.

⁷¹ C.Perrow, Normale Katastrophen. Die unvermeidbaren Risiken der Großtechnik, Frankfurt a.M. 1987.

⁷² G.Ropohl, Allgemeine Technologie der Netzwerke, in: Technikgeschichte, 56, 1988, S.160 f.

⁷³ N.Rosenberg, The Direction of Technological Change: Inducement Mechanisms and Focusing Devices, in: Economic Development and Cultural Change 18, 1969, 6; Hughes, Networks of Power, Kapitel IV ("Reverse salients and critical problems"), bes. S. 79-82; ders., The Evolution of Large Technological Systems, S. 74 ff.

⁷⁴ Vgl. zum folgenden u.a. H.Heiden, Rund um den Fernsprecher, Braunschweig 1963; W.König, W.Weber, Netzwerke Stahl und Strom. 1840-1914, Frankfurt a. M., Berlin 1990, S. 496-510.

⁷⁵ Vgl. diverse Artikel und Notizen in der Elektrotechnischen Zeitschrift, u.a. J.H.West, Die gegenwärtige Entwicklung des Fernsprechwesens, in ETZ 18, 1897, S. 74-77, 86-90; G.Busse, 100 Jahre öffentlicher Fernsprechdienst in Deutschland, in: Archiv für Postgeschichte, H.1/1881, S.124-131.

⁷⁶ Vgl. u.a. G.Siemens, Der Weg der Elektrotechnik, 2 Bde, Bd.1, S.157 ff.; C.Bertho (Hg.), Histoire des télécommunications en France, Toulouse o.J., S. 69-75; H.Leclerc, Das "Fräulein vom Amt"-kleine Skizze zu einem großem Thema, in: Archiv für deutsche Postgeschichte, H. 1/1977, S.138-148; Milton Mueller, The Switchboard Problem: Scale, Signaling, and Organization in Manual Telephone Switching, 1877-1897, in: Technology and Culture 1989, S.534-560 und vor allem jetzt U.D.Nienhaus, Das "Fräulein vom Amt" im internationalen Vergleich sowie B.Godt, Die Entwicklung der Handvermittlung in: H.Gold, A.Koch (Hg.), Fräulein vom Amt, München 1993, S.37-55, 68-85.

⁷⁷ Vgl. bes.J.Conrad (Hg.), Gesellschaft, Technik und Risikopolitik, Berlin, Heidelberg,1983.